

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Διπλωματική Εργασία

«ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΒΑΔΙΣΜΑΤΟΣ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ»

ΤΖΩΡΤΖΟΓΛΟΥ ΦΩΤΗΣ

ΒΟΛΟΣ, 2013



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 11866/1
Ημερ. Εισ.: 13-12-2013
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ
2013
ΤΖΩ

© 2013 Τζώρτζογλου Φώτης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος εξεταστής
(Επιβλέπων)

Σαχαρίδης Γιώργος (επιβλέπων),
Λέκτορας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος εξεταστής

Λυμπερόπουλος Γιώργος,
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος εξεταστής

Παντελής Δημήτρης,
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

*Αυτή η εργασία αφιερώνεται
στους γονείς μου και στους φίλους
που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια
και στη Φαίδρα που χωρίς αυτή
μάλλον θα τα 'χα παρατήσει.*

«Ελαχιστοποίηση απόστασης βαδίσματος στους χώρους αεροδρομίου»

Τζώρτζογλου Φώτης

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2013

Επιβλέπων Καθηγητής:

Σαχαρίδης Γεώργιος,

Λέκτορας Επιχειρησιακής Έρευνας και Βιομηχανικής Διοίκησης,

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης της απόστασης βαδίσματος στους χώρους ενός αεροδρομίου. Το πρόβλημα μοντελοποιήθηκε με τρεις τρόπους. Στην πρώτη μοντελοποίηση δε λαμβάνουμε υπόψη τον χρόνο που βρίσκεται ένα αεροσκάφος στο αεροδρόμιο. Απλά αναθέτουμε τις πτήσεις που υπάρχουν στο αεροδρόμιο σε πύλες. Το πρόβλημα που προκύπτει είναι μη γραμμικού, τετραγωνικού προγραμματισμού (Quadratic Assignment Problem – Q.A.P.). Επειδή τα μη γραμμικά μοντέλα λύνονται δύσκολα μετατρέπουμε το πρόβλημα μας σε γραμμικό. Στο δεύτερο μοντέλο λαμβάνουμε υπόψη τον χρόνο και θεωρούμε ότι παίρνει διακριτές τιμές. Και αυτό το μοντέλο προκύπτει να είναι μη γραμμικό. Η γραμμικοποίηση του γίνεται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στο πρώτο μοντέλο. Στο τρίτο μοντέλο ο χρόνος θεωρείται συνεχής μεταβλητή. Αυτό το μοντέλο προκύπτει να είναι εξαρχής γραμμικό. Και τα τρία προβλήματα λυθήκανε με χρήση των βιβλιοθηκών CPLEX ILOG IBM σε γλώσσα προγραμματισμού C++.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Κίνητρο και υπόβαθρο	1
1.2 Ιστορική ανασκόπηση	2
1.2.2 Άλλα προβλήματα ελαχιστοποίησης απόστασης και χρόνου βαδίσματος.....	3
1.3 Οργάνωση της διπλωματικής εργασίας.....	4
2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΠΥΛΗΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ	5
2.1 Εισαγωγή.....	5
2.2 Περιγραφή και διαστάσεις του προβλήματος.....	5
3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	11
3.1 Εισαγωγή.....	11
3.2 Μοντέλο 1: Απλή ανάθεση πυλών	11
3.2.1 Γραμμικοποίηση του προβλήματος.....	12
3.3 Μοντέλο 2: Διακριτού χρόνου	14
3.4 Μοντέλο 3: Συνεχούς χρόνου	16
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	19
4.1 Εισαγωγή.....	19
4.2 Παρουσίαση παραδειγμάτων.....	19
4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	20
4.3.1 Αποτελέσματα για το μοντέλο απλής ανάθεσης	20
4.3.2 Αποτελέσματα για το μοντέλο διακριτού χρόνου	21
4.3.3 Αποτελέσματα για το μοντέλο συνεχούς χρόνου	21
4.4 Σύγκριση και σχολιασμός αποτελεσμάτων	22
4.4.1 Μοντέλο απλής ανάθεσης	22
4.4.2 Μοντέλο διακριτού χρόνου	23
4.4.3 Μοντέλο συνεχούς χρόνου	24
4.4.4 Σύγκριση μοντέλων διακριτού και συνεχούς χρόνου.....	24
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	27

6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	29
6.1 Δεδομένα παραδειγμάτων και αποτελέσματα	29
6.1.1 Παράδειγμα 1	29
6.1.2 Παράδειγμα 2	30
6.1.3 Παράδειγμα 3	31
6.1.4 Παράδειγμα 4	33
6.1.5 Παράδειγμα 5	33
6.1.6 Παράδειγμα 6	34
6.1.7 Παράδειγμα 7	35
6.1.8 Παράδειγμα 8	36
6.1.9 Παράδειγμα 9	39
6.1.10 Παράδειγμα 10	40
6.1.11 Παράδειγμα 11	41
6.1.12 Παράδειγμα 12	42
6.1.13 Παράδειγμα 13	43
6.1.14 Παράδειγμα 14	44
6.1.15 Παράδειγμα 15	47
7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49

ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Νομενκλατούρα 1 Μοντέλο απλής ανάθεση

Δείκτες

i, i'
 j, j'

πτήσεις
πύλες

Δεδομένα

$P_{i,i'}$
 P_i^a
 P_i^d

αριθμός επιβατών από την πτήση i προς την πτήση i'
επιβάτες που φτάνουν με την πτήση i
επιβάτες που αναχωρούν με την πτήση i

$D_{j,j'}$
 D_j^a
 D_j^d

απόσταση μεταξύ των πυλών j και j'
απόσταση της εξόδου από την πύλη j
απόσταση της εισόδου από την πύλη j

Μεταβλητές απόφασης

X_{ij}
 $Y_{ij|i'j'}$

δυική, αν θα ανατεθεί η πτήση i στην πύλη j
δυική, αν θα ανατεθεί η πτήση i στην πύλη j και η πτήση i' στην πύλη j' ώστε να γίνει μετεπιβίβαση

Νομενκλατούρα 2

Μοντέλο διακριτού χρόνου

Δείκτες

i, i'	πτήσεις
j, j'	πύλες
t, t'	χρόνος

Δεδομένα

$P_{i,i'}$	αριθμός επιβατών από την πτήση i προς την πτήση i'
P_i^a	επιβάτες που φτάνουν με την πτήση i
P_i^d	επιβάτες που αναχωρούν με την πτήση i
$D_{j,j'}$	απόσταση μεταξύ των πυλών j και j'
D_j^a	απόσταση εξόδου από την πύλη j
D_j^d	απόσταση εισόδου από την πύλη j
TA_i	χρονική στιγμή άφιξης της πτήσης i
TD_i	χρονική στιγμή αναχώρησης της πτήσης i

Μεταβλητές απόφασης

X_{ijt}	δυική, αν θα ανατεθεί η πτήση i στην πύλη j τη χρονική στιγμή t
$Y_{ijj'j'}$	δυική, αν θα ανατεθεί η πτήση i στην πύλη j και η πτήση i' στην πύλη j' ώστε να γίνει μετεπιβίβαση

Νομενκλατούρα 3 Μοντέλο συνεχούς χρόνου

Δείκτες

i, i'	πτήσεις
j, j'	πύλες
n	σειρά ανάθεσης

Δεδομένα

$P_{i,i'}$	αριθμός επιβατών από την πτήση i προς την πτήση i'
P_i^a	επιβάτες που φτάνουν με την πτήση i
P_i^d	επιβάτες που αναχωρούν με την πτήση i
$D_{j,j'}$	απόσταση μεταξύ των πυλών j και j'
D_j^a	απόσταση της εξόδου από την πύλη j
D_j^d	απόσταση της εισόδου από την πύλη j
TA_i	χρονική στιγμή άφιξης της πτήσης i
TD_i	χρονική στιγμή αναχώρησης της πτήσης i
DIS_i	απαιτούμενος χρόνος να αποβιβάστούν όλοι οι επιβάτες από την πτήση i
$CLEAN_i$	απαιτούμενος χρόνος να καθαριστεί και να ετοιμαστεί για αναχώρηση το αεροπλάνο της πτήσης i
M	μεγάλος αριθμός

Μεταβλητές απόφασης

$F_{ij i'j'}$	συνεχής, η ροή των επιβατών από την πτήση i (που ανατέθηκε στην πύλη j) προς την πτήση i' (που ανατέθηκε στην πύλη j')
X_{ijn}	αν θα ανατεθεί η πτήση i στην πύλη j με τη σειρά n
$OTP_{ijn} -$	συνεχής, η χρονική στιγμή που θα ξεκινήσει η αποβίβαση από την πτήση i που βρίσκεται στην πύλη j με τη σειρά n
ITP_{ijn}	συνεχής, η χρονική στιγμή που θα ξεκινήσει η επιβίβαση στην πτήση i που βρίσκεται στην πύλη j με τη σειρά n
DEP_{ijn}	συνεχής, η χρονική στιγμή που θα αναχωρήσει η πτήση i από την πύλη j με τη σειρά n

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Ενδεικτικές αποστάσεις μεταξύ πυλών	10
Πίνακας 2 Παρουσίαση παραδειγμάτων για το μοντέλο απλής ανάθεσης	20
Πίνακας 3 Παρουσίαση παραδειγμάτων για το μοντέλο διακριτού χρόνου	20
Πίνακας 4 Παρουσίαση παραδειγμάτων για το μοντέλο συνεχούς χρόνου	20
Πίνακας 5 Αποτελέσματα μοντέλου απλής ανάθεσης	20
Πίνακας 6 Αποτελέσματα μοντέλου διακριτού χρόνου	21
Πίνακας 7 Αποτελέσματα μοντέλου συνεχούς χρόνου	22
Πίνακας 8 Συσχετισμός μεγέθους & χρόνου επίλυσης για το μοντέλο απλής ανάθεσης	22
Πίνακας 9 Σύγκριση αποτελεσμάτων παραδείγματος 8 (μεγάλο μέγεθος, χρόνος σε ώρες)	23
Πίνακας 10 Σύγκριση αποτελεσμάτων παραδείγματος 14 (μεγάλο μέγεθος, χρόνος σε ώρες)	24
Πίνακας 11 Σύγκριση αποτελεσμάτων παραδείγματος 15 (μεγάλο μέγεθος, χρόνος σε λεπτά)	24
Πίνακας 12 Σύγκριση αποτελεσμάτων παραδειγμάτων 8 και 14 (μεγάλο μέγεθος, χρόνος σε ώρες)	25
Πίνακας 13 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 1	29
Πίνακας 14 Ροές επιβατών μεταξύ πτήσεων για το παράδειγμα 1	29
Πίνακας 15 Αναθέσεις πτήσεων για το παράδειγμα 1	29
Πίνακας 16 Μετεπιβιβάσεις για το παράδειγμα 1	29
Πίνακας 17 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 2	30
Πίνακας 18 Ροές επιβατών μεταξύ πτήσεων για το παράδειγμα 2	30
Πίνακας 19 Αναθέσεις πτήσεων για το παράδειγμα 2	30
Πίνακας 20 Μετεπιβιβάσεις για το παράδειγμα 2	31
Πίνακας 21 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 3	31
Πίνακας 22 Ροές επιβατών μεταξύ πτήσεων για το παράδειγμα 3	32
Πίνακας 23 Αναθέσεις πτήσεων για το παράδειγμα 3	32
Πίνακας 24 Μετεπιβιβάσεις για το παράδειγμα 3	32
Πίνακας 25 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 4	33
Πίνακας 26 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 4	33
Πίνακας 27 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 4	33
Πίνακας 28 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε λεπτά) για το παράδειγμα 5	33
Πίνακας 29 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 5	34
Πίνακας 30 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 5	34
Πίνακας 31 Μετεπιβιβάσεις για το παράδειγμα 5	34
Πίνακας 32 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 6	34
Πίνακας 33 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 6	35
Πίνακας 34 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 6	35
Πίνακας 35 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε λεπτά) για το παράδειγμα 7	35
Πίνακας 36 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 7	36
Πίνακας 37 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 7	36
Πίνακας 38 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 8	36

Πίνακας 39	Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 8	37
Πίνακας 40	Ροές επιβατών για το παράδειγμα 8	38
Πίνακας 41	Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε λεπτά) για το παράδειγμα 9	39
Πίνακας 42	Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 9	39
Πίνακας 43	Ροές επιβατών για το παράδειγμα 9	39
Πίνακας 44	Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 10	40
Πίνακας 45	Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 10	40
Πίνακας 46	Ροές επιβατών για το παράδειγμα 10	40
Πίνακας 47	Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε λεπτά) για το παράδειγμα 11	41
Πίνακας 48	Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 11	41
Πίνακας 49	Ροές επιβατών για το παράδειγμα 11	41
Πίνακας 50	Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 12	42
Πίνακας 51	Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 12	42
Πίνακας 52	Ροές επιβατών για το παράδειγμα 12	42
Πίνακας 53	Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 13	43
Πίνακας 54	Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 13	43
Πίνακας 55	Ροές επιβατών για το παράδειγμα 13	44
Πίνακας 56	Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 14	44
Πίνακας 57	Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 14	45
Πίνακας 58	Ροές επιβατών για το παράδειγμα 14	46
Πίνακας 59	Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε λεπτά) για το παράδειγμα 15	47
Πίνακας 60	Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 15	47
Πίνακας 61	Ροές επιβατών για το παράδειγμα 15	48

-

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Τυπικός σχεδιασμός αίθουσας αναχωρήσεων	6
Εικόνα 2 Τυπικός σχεδιασμός αίθουσας αφίξεων	7
Εικόνα 3 Σκάλα επιβίβασης	8
Εικόνα 4 Αερογέφυρα	8
Εικόνα 5 Τυπικά σχήματα επιβατικών σταθμών	9

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΩΝ

- A.G.A.P.: Airport Gate Assignment Problem
- Q.A.P.: Quadratic Assignment Problem

« *Che'l perder tempo a chi più sa più spiace.* »

« *The wisest are the most annoyed at the loss of time.* »

« *Το χάσομέρι όσο και πιο νογιάς και πιο βαρύ 'ναι.* »

-Dante Alighieri, *Purgatorio* (1321), III. 78.

Μτφ. Ν. Καζαντζάκη.

-

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο χρόνος ως έννοια, ως διάσταση, καθώς και η αξιοποίησή του, απασχολεί την ανθρωπότητα για χιλιάδες χρόνια. Ήδη, από την αρχή της φιλοσοφικής σκέψης, έγιναν προσπάθειες να προσδιοριστεί. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι θεωρούνται οι πρώτοι που κατάφεραν να τον μετρήσουν. Ξέρουμε πως από το 2000 π.Χ., διέθεταν ένα σύστημα για να υπολογίζουν τις ώρες της νύχτας. Οι έρευνες έχουν δείξει ότι το σύστημα αυτό βασιζόταν στην παρατήρηση των αστεριών. Επίσης, από τον 13^ο αιώνα π.Χ., χρησιμοποιούσαν το ηλιακό ρολόι και μια μετατροπή του γνώμονα, για να μετράνε τον χρόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας.^[1]

Η μέτρηση του χρόνου πηγαίνει παράλληλα με την προσπάθεια εξοικονόμησής του. Δεδομένου ότι μικρότερη απόσταση συνήθως συνεπάγεται και οικονομία χρόνου, η ανθρωπότητα προσπαθεί εδώ και χιλιάδες χρόνια να μειώσει τις αποστάσεις. Η προσπάθεια αυτή συνέβαλε στην ανακάλυψη του τροχού, στην ανάπτυξη της ναυτιλίας και γενικότερα στην εξέλιξη των μεταφορών όπως τις γνωρίζουμε σήμερα.

1.1 Κίνητρο και υπόβαθρο

Η εξοικονόμηση του χρόνου είναι ουσιώδης για τις αεροπορικές εταιρίες. Μειώνοντας τον χρόνο ταξιδιού και προετοιμασίας της πτήσης, οι εταιρίες καταφέρνουν να χωρέσουν περισσότερες πτήσεις σε μία μέρα. Αυτό συνεπάγεται κέρδη για την αεροπορική, αλλά και περισσότερες πτήσεις από τις οποίες μπορεί να επιλέξει ο επιβάτης και να οργανώσει ανάλογα το ταξίδι του.

Η παρούσα εργασία επιλύει το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης της απόστασης που πρέπει να βαδίσουν οι επιβάτες μέσα σε ένα αεροδρόμιο. Μειώνοντας την απόσταση βαδίσματος ανάμεσα στις πύλες επιτυγχάνεται μείωση του χρόνου που χρειάζεται να εκτελεστεί η μετεπιβίβαση από πτήση σε πτήση. Έτσι, μειώνεται ο χρόνος που απαιτείται για να προετοιμαστεί μια πτήση. Μειώνοντας τη διαδρομή που περπατάνε οι επιβάτες από και προς της είσοδο καταφέρνουμε καλύτερη εξυπηρέτηση, αλλά και ελαχιστοποίηση του συνωστισμού στους χώρους του αερολιμένα.

Για να καταφέρουμε να συντομέψουμε τη απόσταση που διανύουν οι επιβάτες που αλλάζουν πτήση, αρκεί να αναθέσουμε την πτήση προέλευσης και την πτήση προορισμού

στις πύλες με τη μικρότερη απόσταση ανάμεσά τους. Αντίστοιχα, για να μειώσουμε τη διαδρομή από μία πύλη προς την έξοδο αρκεί να αναθέσουμε την πτήση στην πύλη που βρίσκεται πιο κοντά στην έξοδο. Γι' αυτό και το πρόβλημα ελαχιστοποίησης απόστασης μετασχηματίζεται σε πρόβλημα ανάθεσης. Στη βιβλιογραφία το παραπάνω πρόβλημα εντοπίζεται συνήθως με τα αρχικά A.G.A.P. (Airport Gate Assignment Problem), που αντιστοιχούν στον τίτλο «πρόβλημα ανάθεσης πυλών αεροδρομίου».

Το πρόβλημα μοντελοποιήθηκε και λύθηκε τρεις φορές. Στην πρώτη μοντελοποίηση δε λαμβάνουμε υπόψη τον χρόνο που βρίσκεται ένα αεροσκάφος στο αεροδρόμιο. Απλά αναθέτουμε τις πτήσεις που υπάρχουν στο αεροδρόμιο, σε πύλες. Στο δεύτερο μοντέλο λαμβάνουμε υπόψη το χρόνο και θεωρούμε ότι παίρνει διακριτές τιμές. Στο τρίτο μοντέλο ο χρόνος θεωρείται συνεχής μεταβλητή.

1.2 Ιστορική ανασκόπηση

1.2.1.1 Προηγούμενες έρευνες στο πρόβλημα ανάθεσης πύλης

Οι πρώτες μελέτες για την ελαχιστοποίηση βαδίσματος μέσα στον επιβατικό σταθμό ξεκινάνε τη δεκαετία του '70. Δεν έχει διατυπωθεί ακόμα το πρόβλημα ανάθεσης αλλά η μείωση της απόστασης βαδίσματος γίνεται σχεδιάζοντας κατάλληλα τη διαδρομή μέσα στον επιβατικό σταθμό (Braaksma και Shortreed, 1971)^[2]. Το 1987 οι Wirasinghe κ.α.^[3] επεκτείνουν την παραπάνω δουλειά παρουσιάζοντας μια μέθοδο υπολογισμού της κατάλληλης γεωμετρίας ενός αεροδρομίου, βάσει της απόστασης που διανύουν οι επιβάτες. Το 1979, το πρόβλημα αποδεικνύεται ότι είναι NP-hard^a (μη ντετερμινιστικό με χρόνο πολυωνυμικής μορφής) από τον Obata^[4].

Η πρώτη προσπάθεια να μοντελοποιηθεί και να επιλυθεί το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης του βαδίσματος ως πρόβλημα επιχειρησιακής έρευνας γίνεται από τον Babic κ.α. το 1984^[5]. Μοντελοποιούν το πρόβλημα σαν πρόβλημα ανάθεσης. Το μοντέλο τους είναι ακέραιου προγραμματισμού και είναι γραμμικό. Επιλύεται με τη μέθοδο branch-and-bound^b (διακλάδωση και οριοθέτηση), χωρίς να λαμβάνει υπόψη των αριθμό των επιβατών. Οι Mangoubi και Mathaisel (1985)^[6] χρησιμοποίησαν γραμμική

^a Weisstein, Eric W. "NP-Hard Problem." From *MathWorld*--A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/NP-HardProblem.html>

^b Pintér, János. "Branch and Bound Algorithm." From *MathWorld*--A Wolfram Web Resource, created by Eric W. Weisstein. <http://mathworld.wolfram.com/BranchandBoundAlgorithm.html>

χαλάρωση^c και άπληστους ευρετικούς αλγόριθμους για να λύσουν το πρόβλημα των Babic κ.α. Θεώρησαν την απόσταση βαδίσματος ομοιόμορφα κατανεμημένη από πύλη σε πύλη. Επίσης, μορφοποίησαν το πρόβλημα σαν τετραγωνικό πρόβλημα ανάθεσης (Quadratic Assignment Problem – Q.A.P) το οποίο και γραμμικοποίησαν αλλά δεν έλυσαν, επισημαίνοντας ότι είναι δύσκολο και χρονοβόρο να λύσει κανείς ένα γραμμικοποιημένο QAP με πολλές μεταβλητές απόφασης και περιορισμούς.

Οι Haghani and Chen το 1998^[7] πρότειναν ένα γραμμικοποιημένο Q.A.P. για το πρόβλημα ανάθεσης πύλης. Στο μοντέλο τους χρησιμοποιείται η ακριβής απόσταση από πύλη σε πύλη αντί να θεωρείται ομοιόμορφα κατανεμημένη. Επίσης, το μοντέλο τους λαμβάνει υπόψη για πρώτη φορά τον χρόνο που βρίσκεται ένα αεροπλάνο στο έδαφος, αυξάνοντας έτσι την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Γι' αυτό, χρησιμοποιούνε ευρετικό αλγόριθμο γραμμένο σε γλώσσα C για να το λύσουν.

Γενικά, από τη δεκαετία του '90 και μετά, έχουν προταθεί πολλές και διαφορετικές προσεγγίσεις για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης πύλης αεροδρομίου. Μερικές από αυτές συμπεριλαμβάνουν το κόστος (Wirasinghe και Bandara, 1990)^[8] και τον χρόνο (Yan και Chang, 1998)^[9] των καθυστερήσεων, ενώ άλλοι ερευνητές εστιάζουν στην ταχύτερη επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιώντας μετα-ευρετικές μεθόδους^d (Hu και Di Paolo, 2007^[10]). Στις περισσότερες μελέτες ο χρόνος θεωρείται ότι δεν παίζει ρόλο στην ανάθεση μιας πτήσης σε μία πύλη και άρα δε συμπεριλαμβάνεται. Μερικά μοντέλα χωρίζουν τον χρόνο σε παράθυρα (time windows) όπως αυτό των Zhu, Lim, και Rodrigues^[11] (2005), ενώ πολύ λίγα αντιμετωπίζουν τον χρόνο ως συνεχή μεταβλητή.

1.2.2 Άλλα προβλήματα ελαχιστοποίησης απόστασης και χρόνου βαδίσματος

Πέρα από το πρόβλημα διαχείρισης αεροδρομίου και την ελαχιστοποίηση του βαδίσματος στον επιβατικό σταθμό, έχουν μελετηθεί και άλλα προβλήματα ελαχιστοποίησης της απόστασης βαδίσματος. Το 1992 ο Johnson,^[12] χρησιμοποιώντας ως έναυσμα την έρευνα των Armour και Buffa για το πρόβλημα τοποθεσίας εγκαταστάσεων (Facilities Location Problem)^[13], μελέτησε διαφορετικά σχήματα κτηρίων πολλαπλών

^c Σαχαρίδης Γ. «Ακέραιος Προγραμματισμός, Χαλαρώσεις και Όρια» From *TMM* - Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος.

http://www.mie.uth.gr/ekp_vliko/AKEPAIOSΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣΚ5.pdf

^d Xin-She Yang (2011). "Metaheuristic Optimization." From *Scholarpedia*, http://www.scholarpedia.org/article/Metaheuristic_Optimization

ορόφων με στόχο να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος βαδίσματος σε αυτά. Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποίησε λογιστικά φύλλα (spreadsheets).

Οι Koster, Roodbergen και Voorden (1999) προσπάθησαν να μειώσουν την απόσταση που περπατάνε οι υπάλληλοι στο κέντρο διανομής De Bijenkorf στην Ολλανδία, όταν πηγαίνουν να πάρουν μια παραγγελία.^[14] Προσπάθησαν να λύσουν το παραπάνω πρόβλημα, χωρίς να αλλάξουν τον τρόπο που μεταφέρονται και αποθηκεύονται τα προϊόντα. Χρησιμοποιώντας μια ευρετική μέθοδο για δρομολόγηση, κατάφεραν να μειώσουν κατά 30% τις αποστάσεις που διανύουν οι υπάλληλοι.

Οι Du, Ch. Liu και Zh. Liu (2009) προσπάθησαν να προσδιορίσουν την κατανομή που ακολουθεί ο χρόνος που ξοδεύουν οι επιβάτες του μετρό στις υπόγειες διαβάσεις.^[15] Απέδειξαν ότι οι χρόνοι βαδίσματος ακολουθούν σχεδόν πιστά τη λογαριθμοκανονική (log-normal) κατανομή, με τη μέση τιμή να αυξάνεται και την τυπική απόκλιση να μειώνεται, ανάλογα με τον συνωστισμό των επιβατών.

Το 1997, οι Al-Haboubi και Selim, δημοσίευσαν μια μελέτη που προσπαθεί να μειώσει τη συμφόρηση γύρω από την Κάαμπα στη Μέκκα στη Σαουδική Αραβία.^[16] Η Κάαμπα είναι ένα οικοδόμημα, σε σχήμα κύβου, μέσα στο τζαμί Μασγίντ αλ Χαράμ. Το Μασγίντ αλ Χαράμ θεωρείται το αγιότερο τζαμί για τους μουσουλμάνους. Κάθε χρόνο κατά το Χατζ (Hajj^e), πάνω από έξι εκατομμύρια μουσουλμάνοι συγκεντρώνονται με άτακτο τρόπο ώστε προσκυνήσουν περπατώντας γύρω από την Κάαμπα. Η παραπάνω μελέτη προτείνει, οι προσκυνητές να περπατάνε σε σχηματισμό σπείρας με επτά σπειρώματα γύρω από την Κάαμπα. Επίσης, στην ίδια έρευνα, ανέπτυξαν ένα μοντέλο ώστε να μειώνεται ο μέσος χρόνος παραμονής στον χώρο προσκυνήματος.

1.3 Οργάνωση της διπλωματικής εργασίας

Το υπόλοιπο της εργασίας χωρίζεται σε τέσσερις ενότητες τις οποίες καταλαμβάνουν τα κεφάλαια 2 έως 5. Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια περιγραφή του προβλήματος και παρουσιάζονται οι συνήθεις διαστάσεις του. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται η παρουσίαση και η περιγραφή των μοντελοποιήσεων. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται, συγκρίνονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επίλυση του κάθε μοντέλου. Τέλος, στο κεφάλαιο 5 εκτίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία.

^e <http://www.whatiseid.com/hajj.html>

2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΠΥΛΗΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η λειτουργία ενός αερολιμένα και παρουσιάζεται αναλυτικά το πρόβλημα της ανάθεσης πύλης αεροδρομίου. Παρουσιάζονται, επίσης, οι τυπικές διαστάσεις του προβλήματος διαχείρισης αερολιμένα.

2.2 Περιγραφή και διαστάσεις του προβλήματος

Ένας τυχαίος πολιτικός αερολιμένας αποτελείται κυρίως από τον αεροδιάδρομο, τον επιβατικό σταθμό (terminal), τον πύργο ελέγχου και τα κτίρια για τη στέγαση και τη συντήρηση των αεροπλάνων και των βοηθητικών οχημάτων (πυροσβεστικών, λεωφορείων κλπ.). Στον αεροδιάδρομο γίνονται οι προσγειώσεις και οι απογειώσεις των αεροπλάνων και στον πύργο ελέγχου ελέγχεται η εναέρια κυκλοφορία, αλλά και η κυκλοφορία στους τροchioδρόμους. Ο έλεγχος, η διακίνηση και η εξυπηρέτηση των επιβατών γίνεται στον επιβατικό σταθμό. Γι' αυτό και ο επιβατικός σταθμός αποτελεί την καρδιά ενός αεροδρομίου.

Ο αριθμός των επιβατικών σταθμών σε ένα αεροδρόμιο είναι, συνήθως, ανάλογος του αριθμού των επιβατών και των πτήσεων που εξυπηρετούνται. Από ένα μικρό αεροδρόμιο που εξυπηρετεί μόνο πτήσεις εσωτερικού, περνάνε μόνο λίγες χιλιάδες επιβάτες ετησίως. Έτσι, τα μικρά και μεσαία αεροδρόμια έχουν συνήθως ένα terminal. Σε μεγάλα αεροδρόμια, όπως το Διεθνές Αεροδρόμιο του Los Angeles, που εξυπηρετεί 61 εκατομμύρια επιβάτες και 600 χιλιάδες πτήσεις ετησίως^f, ο αριθμός των αεροσταθμών φτάνει τους εννιά.

Στα μικρά αεροδρόμια, ο επιβατικός σταθμός συνήθως εξυπηρετεί τις αναχωρήσεις και τις αφίξεις ταυτόχρονα. Σε μεγαλύτερα αεροδρόμια, μπορεί ένα terminal να εξυπηρετεί τις αναχωρήσεις και ένα διαφορετικό τις αφίξεις. Και στις δύο περιπτώσεις, η τυπική δομή του χώρου αναχωρήσεων είναι:

^f Πηγή: http://www.lawa.org/welcome_LAX.aspx?id=44

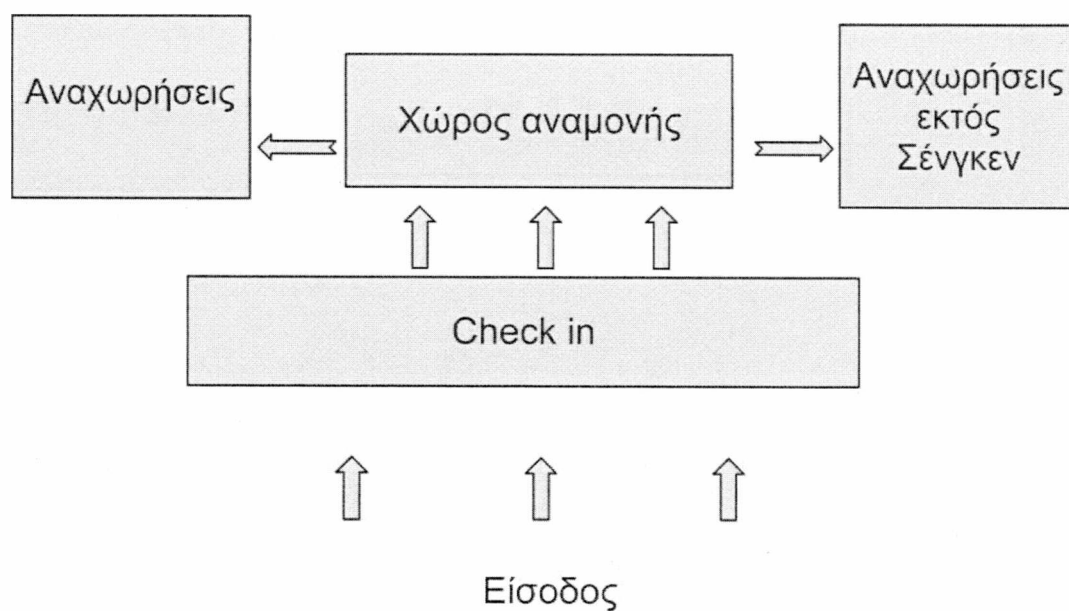


- Τα γκισέ όπου γίνεται ο έλεγχος των εισιτηρίων (check-in),
- Ο έλεγχος ασφάλειας και διαβατηρίων,
- Η αίθουσα αναμονής.

Αντίστοιχα, τα κύρια μέρη του χώρου αφίξεων είναι:

- Ο έλεγχος ασφάλειας και διαβατηρίων,
- Η παραλαβή αποσκευών,
- Ο χώρος υποδοχής.

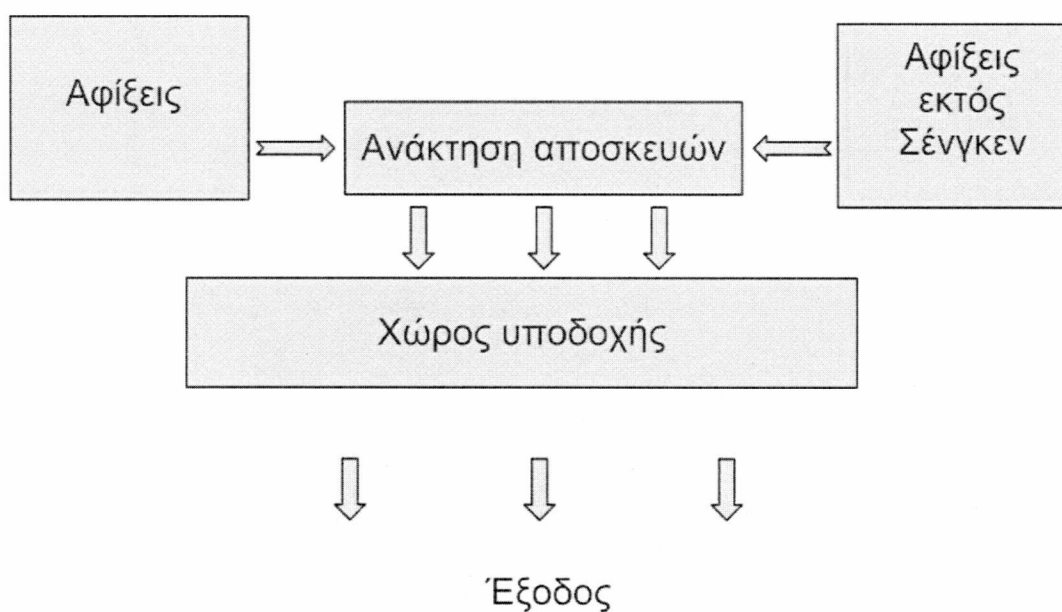
Η τυπική δομή των αιθουσών αφίξεων και αναχωρήσεων παρουσιάζεται στις εικόνες 1 και 2. Οι συγκεκριμένες εικόνες αποτελούν σκαριφήματα των αντίστοιχων αιθουσών του Διεθνούς Αερολιμένα «Ελευθέριος Βενιζέλος». Πληροφοριακά αναφέρουμε ότι το «Ελευθέριος Βενιζέλος» εξυπηρετεί περίπου 12 εκατομμύρια επιβάτες^g και 170 χιλιάδες πτήσεις^h τον χρόνο.



Εικόνα 1 Τυπικός σχεδιασμός αίθουσας αναχωρήσεων

^g Πηγή: http://www.aia.gr/userfiles/675393df-ab1a-4b77-826c-f3096a3d7f12/Pax_2012_EN.pdf

^h Πηγή: http://www.aia.gr/userfiles/675393df-ab1a-4b77-826c-f3096a3d7f12/Flights_2012_EN.pdf



Εικόνα 2 Τυπικός σχεδιασμός αίθουσας αφίξεων

Η μετάβαση των επιβατών από τον σταθμό στο αεροπλάνο γίνεται μέσω των πυλών. Το αεροπλάνο σταθμεύει έξω από την πύλη και η επιβίβαση/αποβίβαση γίνεται συνήθως με σκάλα (Εικόνα 3) ή με αερογέφυρα (Εικόνα 4). Ο αριθμός των πυλών που έχει ένα αεροδρόμιο εξαρτάται από το μέγεθος του κάθε terminal. Οι Adikariwattage κ.α.^[17], σε μία μελέτη το 2012, ομαδοποίησαν τα αεροδρόμια των Ηνωμένων Πολιτειών με βάση τον αριθμό των πυλών τους. Η έρευνα τους δείχνει ότι υπάρχουν αεροδρόμια με λιγότερες από 15 πύλες, ενώ άλλα έχουν παραπάνω από ενενήντα. Η απόσταση των πυλών από την είσοδο/έξοδο είναι συνήθως μερικές δεκάδες ή λίγες εκατοντάδες μέτρα. Οι πύλες μεταξύ τους μπορεί να απέχουν από λίγα έως λίγες εκατοντάδες μέτρα.



Εικόνα 3 Σκάλα επιβίβασηςⁱ

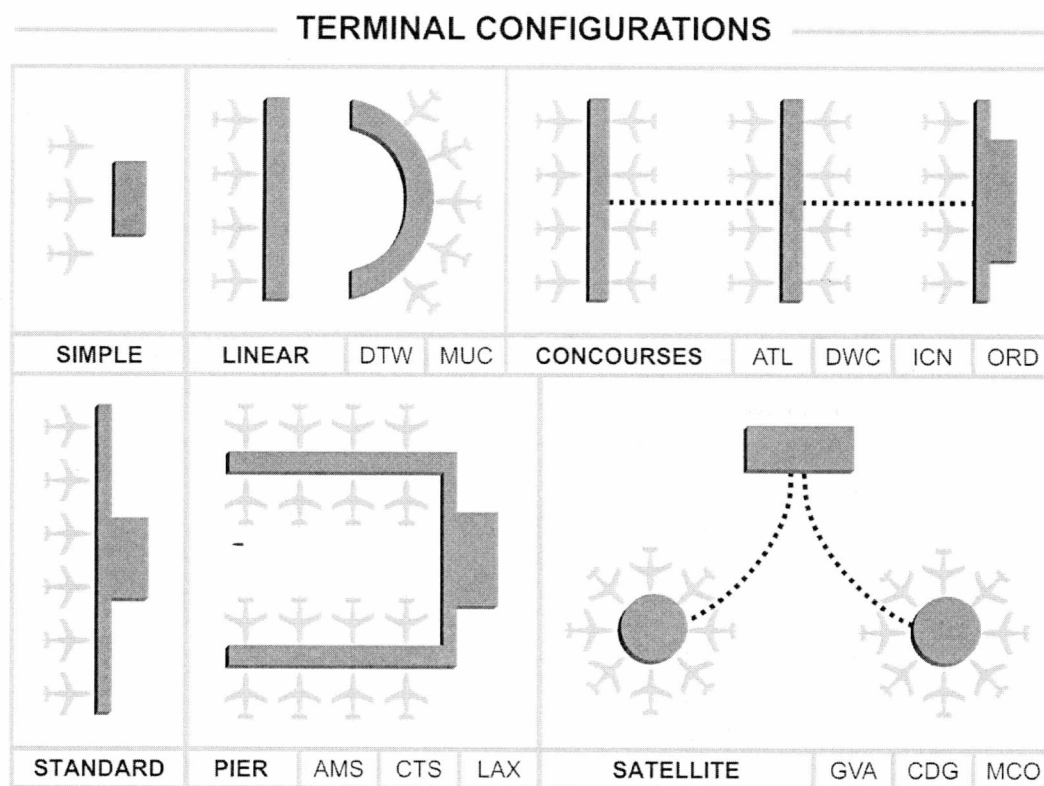


Εικόνα 4 Αερογέφυρα^j

ⁱ Πηγή: <http://airchive.com/blog/wp-content/uploads/2013/04/AA773-Acceptance-Flight-2.jpg>

^j Πηγή: <http://wallpapersus.com/wallpapers/2012/11/Boarding-A-Plane-485x728.jpg>

Για την ταχύτερη μετάβαση των επιβατών από την είσοδο στην πύλη και αντίστροφα, έχουν προταθεί διαφορετικά σχήματα επιβατικών σταθμών (Εικόνα 5), έτσι ώστε να μειώνεται η απόσταση που περπατάνε οι επιβάτες. Τυπικά σχήματα είναι το ορθογωνικό, το δορυφορικό και το σχήμα προβλήτας. Κατά τον σχεδιασμό του terminal πρέπει να ληφθεί υπόψη το μέγεθος των αεροπλάνων που εξυπηρετούνται. Υπάρχουν αεροπλάνα μήκους δεκάδων μέτρων, που χωράνε αρκετές εκατοντάδες επιβάτες (Airbus A380^k) και άλλα μικρότερα που χωράνε λιγότερους από δέκα (Cessna Caravan^l). Οι de Barros και Wirasinghe^[18] εξέτασαν διάφορα σχήματα terminal για την καλύτερη εξυπηρέτηση των πολύ μεγάλων αεροπλάνων.



Εικόνα 5 Τυπικά σχήματα επιβατικών σταθμών^m

Μπορούμε να χωρίσουμε τους επιβάτες σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον προορισμό και την προέλευση τους. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους επιβάτες που αναχωρούν από το αεροδρόμιο. Έρχονται δηλαδή στο αεροδρόμιο από την κοντινότερη

^k Πηγή: <http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a380family/specifications/>

^l Πηγή: <http://www.cessna.com/caravan/cessna-caravan>

^m Πηγή: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Terminal-Configurations.png>

πόλη και κατευθύνονται από την είσοδο του αεροδρομίου στην πύλη ώστε να επιβιβαστούν στο αεροπλάνο. Σε αυτήν την περίπτωση το αεροδρόμιο είναι ο σταθμός εκκίνησης του ταξιδιού τους. Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από τους επιβάτες που φτάνουν με κάποια πτήση στο αεροδρόμιο. Μετά την αποβίβαση οδηγούνται στην έξοδο. Για αυτήν την κατηγορία επιβατών το αεροδρόμιο είναι ο προορισμός τους. Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τους επιβάτες που χρησιμοποιούν το αεροδρόμιο ως ενδιάμεσο σταθμό. Φτάνουν με κάποιο αεροπλάνο, αποβιβάζονται και στη συνέχεια επιβιβάζονται σε κάποιο άλλο ώστε να συνεχίσουν το ταξίδι τους. Προχωρώντας λίγο τον συλλογισμό μας, παρατηρούμε πως οι δύο πρώτες κατηγορίες (επιβάτες αναχωρήσεων και αφίξεων) δεν επηρεάζουν σημαντικά την ταχύτητα με την οποία θα πραγματοποιηθεί η διασύνδεση των πτήσεων, αφού κατευθύνονται από και προς την είσοδο/έξοδο. Μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε τους επιβάτες αφίξεων και αναχωρήσεων ως μια κατηγορία, τους ντόπιους επιβάτες. Έτσι οι κατηγορίες των επιβατών συνοψίζονται στις εξής δύο:

1. Ντόπιοι επιβάτες,
2. Επιβάτες μετεπιβίβασης.

Οι επιβάτες μετεπιβίβασης αποτελούν την ουσία του προβλήματος ανάθεσης πυλών. Στόχος μας είναι να αναθέσουμε τις πτήσεις στις πιο κοντινές πύλες ώστε να μειώσουμε την απόσταση που θα περπατήσουν οι επιβάτες προς μετεπιβίβαση. Έστω, για παράδειγμα, δύο πτήσεις A και B και τρεις πύλες, 1,2,3. Στον πίνακα 1 φαίνονται οι αποστάσεις μεταξύ των πυλών. Για να περπατήσουν λιγότερο οι επιβάτες που κατευθύνονται από την πτήση A στη B (και αντίστροφα) πρέπει να αναθέσουμε μια από τις δύο πτήσεις στην πύλη 1 και την άλλη στην πύλη 2. Έτσι, καταφέρνουμε ο κάθε επιβάτης να περπατήσει τρία μέτρα. Αν αναθέσουμε τις πτήσεις στις πύλες 1 και 3, ο κάθε επιβάτης θα περπατήσει 7 μέτρα ενώ αν τις αναθέσουμε στις πύλες 2 και 3, ο κάθε επιβάτης θα περπατήσει 4 μέτρα.

Πύλες/Απόσταση [μέτρα]	1	2	3
1	-	3	7
2	3	-	4
3	7	4	-

Πίνακας 1 Ενδεικτικές αποστάσεις μεταξύ πυλών

Μειώνοντας την απόσταση που περπατάνε οι επιβάτες που θέλουν να αλλάξουν πτήση, πετυχαίνουμε να φτάνουν στην επιθυμητή πύλη ταχύτερα. Με αυτόν τον τρόπο δεν περιφέρονται άσκοπα μέσα στο αεροδρόμιο και οι αεροπορικές εταιρίες γεμίζουν γρηγορότερα τα αεροπλάνα τους, μειώνοντας τον χρόνο που απαιτείται για την προετοιμασία μιας πτήσης.

3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το καθένα από τα τρία μοντέλα για το πρόβλημα ανάθεσης πυλών σε πτήσεις. Επειδή τα μοντέλα απλής ανάθεσης και διακριτού χρόνου έχουν μη γραμμικές αντικειμενικές συναρτήσεις, παρουσιάζεται και η μέθοδος γραμμικοποίησής τους.

3.2 Μοντέλο 1: Απλή ανάθεση πυλών

Το πρώτο μοντέλο βασίζεται στη μεταπτυχιακή εργασία του Gao F. (2003)^[19] και είναι αποκλειστικά ακέραιου προγραμματισμού καθώς, οι μεταβλητές απόφασης που εμπλέκονται είναι δυϊκές. Θεωρούμε ότι ο χρόνος που βρίσκονται τα αεροπλάνα στο έδαφος δεν παίζει σημαντικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση της απόστασης που διανύουν οι επιβάτες. Γι' αυτό δεν τον λαμβάνουμε υπόψη.

Θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε την απόσταση που περπατάνε οι επιβάτες ανάμεσα σε δύο πύλες. Οπότε, πολλαπλασιάζουμε την απόσταση μεταξύ των πυλών j και j' ($D_{jj'}$), με τον αριθμό των επιβατών που πάνε από την πτήση i στην πτήση i' ($P_{ii'}$), με τη μεταβλητή απόφασης που δείχνει αν θα ανατεθεί η πτήση i στην πύλη j (X_{ij}) και με τη μεταβλητή απόφασης που δείχνει αν θα ανατεθεί η πτήση i' στην πύλη j' ($X_{i'j'}$). Για να ελαχιστοποιήσουμε τη συνολική απόσταση, επαναλαμβάνουμε το ίδιο για κάθε συνδυασμό πτήσεων και πυλών και το προσθέτουμε στην αντικειμενική η οποία γίνεται:

$$Min Z = \sum_i \sum_{i'} \sum_j \sum_{j'} P_{ii'} D_{jj'} X_{ij} X_{i'j'} \quad (3.2.1)$$

Με τον παραπάνω τρόπο, το πρόβλημα προκύπτει μη γραμμικό γιατί πολλαπλασιάζονται οι μεταβλητές απόφασης μεταξύ τους. Η αντικειμενική καταλήγει ως άθροισμα τετραγώνων ($X_{ij} X_{i'j'}$) και κάθε όρος που υψώνεται στο τετράγωνο πολλαπλασιάζεται με το γινόμενο $P_{ii'} D_{jj'}$. Για τον λόγο αυτό το παραπάνω πρόβλημα ονομάζεται τετραγωνικό πρόβλημα ανάθεσης (Quadratic Assignment Problem - Q.A.P.).

Επειδή τα γραμμικά προβλήματα λύνονται ευκολότερα από τα αντίστοιχα μη γραμμικά, θα προσπαθήσουμε να διώξουμε από την αντικειμενική τους τετραγωνικούς όρους.

Πριν προχωρήσουμε στη γραμμικοποίηση, να σημειωθεί, πως αν πολλαπλασιάσουμε τις μεταβλητές απόφασης μόνο με την απόσταση μεταξύ των πυλών j και j' , υπάρχει ό εξής κίνδυνος: πτήσεις με περισσότερους επιβάτες για transit να ανατεθούν σε μακρινότερες πύλες και πτήσεις με λιγότερους επιβάτες σε κοντινότερες. Αυτό συμβαίνει γιατί η αντικειμενική συνάρτηση προσπαθεί να μειώσει μόνο την απόσταση μεταξύ των πυλών. Αποφεύγουμε λοιπόν τον παραπάνω κίνδυνο πολλαπλασιάζοντας τις μεταβλητές απόφασης με την απόσταση που διανύουν όλοι οι επιβάτες προς μετεπιβίβαση ($P_{ii'}D_{jj'}$).

3.2.1 Γραμμικοποίηση του προβλήματος

Για να κάνουμε την αντικειμενική συνάρτηση (3.2.1) γραμμική, αντικαθιστούμε το γινόμενο $X_{ij}X_{i'j'}$ με τη δυϊκή μεταβλητή απόφασης $Y_{ij i' j'}$ έτσι ώστε:

$$Y_{ij i' j'} = X_{ij}X_{i'j'} \quad (3.2.2)$$

Η μεταβλητή απόφασης $Y_{ij i' j'}$ ορίζεται ως:

$$Y_{ij i' j'} = \begin{cases} 1 & \text{αν η πτήση } i \text{ ανατεθεί στην πύλη } j \text{ και η πτήση } i' \text{ στην πύλη } j' \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases}$$

Τώρα το Q.A.P. μετατρέπεται στο ισοδύναμο, γραμμικό, ακέραιο πρόβλημα:

$$\sum_i \sum_{i'} \sum_j \sum_{j'} P_{ii'} D_{jj'} Y_{ij i' j'} \quad (3.2.3)$$

Στο παραπάνω πρόβλημα μπορούμε να προσθέσουμε και τους ντόπιους επιβάτες και να ελαχιστοποιήσουμε την απόσταση που θα διανύσουν από και προς την είσοδο/έξοδο. Η λογική είναι παρόμοια με αυτήν που περιγράψαμε για το πρόβλημα μετεπιβίβασης. Για τις αναχωρήσεις, πολλαπλασιάζουμε την απόσταση της πύλης j από την είσοδο (D_j^d) με τον συνολικό αριθμό επιβατών που αναχωρούν με την πτήση i (P_i^d) και τη μεταβλητή απόφασης που δείχνει αν θα ανατεθεί ή όχι η πτήση i στην πύλη j (X_{ij}). Λειτουργώντας αντίστοιχα και για τους επιβάτες των αφίξεων, καταλήγουμε στο παρακάτω πρόβλημα:

Αντικειμενική συνάρτηση:

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j (P_i^a D_j^a + P_i^d D_j^d) X_{ij} + \sum_i \sum_{i'} \sum_j \sum_{j'} P_{ii'} D_{jj'} Y_{ij i' j'} \quad (3.2.4)$$

με τους εξής περιορισμούς:

$$\sum_j X_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (3.2.5)$$

$$\sum_{i' \neq i} (X_{i'j} + X_{ij}) \leq 1 \quad \forall i, j \quad (3.2.6)$$

$$Y_{ij i' j'} \geq X_{i'j'} + X_{ij} - 1 \quad \forall i, i' \neq i, j, j' \quad (3.2.7)$$

$$Y_{ij i' j'} = 0 \text{ ή } 1 \quad \forall i, i', j, j' \quad (3.2.8)$$

$$X_{ij} = 0 \text{ ή } 1 \quad \forall i, j \quad (3.2.9)$$

Ο περιορισμός (3.2.5) εξασφαλίζει πως κάθε πτήση i θα ανατεθεί σε μία μόνο πύλη. Ο περιορισμός (3.2.6) εξασφαλίζει πως η πτήση i και η πτήση i' δε θα ανατεθούν την ίδια στιγμή στην πύλη j . Ο περιορισμός (3.2.7) γραμμικοποιεί τη σχέση $Y_{ij i' j'} = X_{ij} X_{i' j'}$. Εξασφαλίζει πως όταν η πτήση i ανατεθεί στην πύλη j ($X_{ij} = 1$) και η πτήση i' ανατεθεί στην πύλη j' ($X_{i' j'} = 1$), τότε η μεταβλητή $Y_{ij i' j'}$ θα πάρει την τιμή 1. Οι σχέσεις (3.2.8) και (3.2.9) δείχνουν τις τιμές που μπορούν να πάρουν οι μεταβλητές απόφασης $Y_{ij i' j'}$ και X_{ij} αντίστοιχα.

Να σημειωθεί πως το παραπάνω μοντέλο δεν μπορεί να λειτουργήσει όταν οι πτήσεις είναι περισσότερες από τις πύλες του αεροδρομίου. Αυτό συμβαίνει γιατί το μοντέλο είναι ανεξάρτητο του χρόνου. Για παράδειγμα, έστω ότι σε μία μέρα έρχονται τέσσερις πτήσεις. Επειδή το μοντέλο είναι ανεξάρτητο του χρόνου, δεν μπορώ να θέσω στα δεδομένα ούτε τη στιγμή ούτε και τη σειρά με την οποία φτάνουν και αναχωρούν οι πτήσεις. Αν δοκιμάσω να τις εισάγω στο πρόβλημα, για να γίνει transit θα πρέπει να ανατεθούν όλες οι πτήσεις σε πύλες. Γι' αυτό, ο αριθμός των πυλών πρέπει να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από τον αριθμό των πτήσεων. Αν οι πρώτες τρεις πτήσεις έρχονται το πρωί και η τέταρτη το βράδυ τότε θα πρέπει να επιλύσω το μοντέλο δύο φορές. Μία για τις πρωινές πτήσεις και μία για τη βραδινή.

3.3 Μοντέλο 2: Διακριτού χρόνου

Το δεύτερο μοντέλο μοιάζει αρκετά με το πρώτο με μόνη διαφορά ότι το μοντέλο διακριτού χρόνου λαμβάνει υπόψη τον χρόνο που βρίσκεται η πτήση στο έδαφος. Ονομάζεται διακριτού χρόνου γιατί θεωρούμε τη χρονική περίοδο, για την οποία λειτουργεί το μοντέλο, χωρισμένη σε κομμάτια. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε ότι το μοντέλο μας δουλεύει για μια μέρα (24 ώρες), χωρίζουμε τον χρόνο σε διαστήματα μιας ώρας. Σε πόσα κομμάτια θα χωρίσουμε τον χρόνο είναι δική μας επιλογή. Λιγότερα κομμάτια συνεπάγονται συνήθως μία όχι τόσο ακριβή λύση (αν χωρίζαμε τη μέρα σε δύο δωδεκάωρα θα μπορούσαμε να αναθέσουμε τις πτήσεις μόνο σε δύο σημεία της μέρας: στο πρώτο ή στο δεύτερο δωδεκάωρο.). Περισσότερα κομμάτια οδηγούν σε ακριβέστερη λύση, αλλά αυξάνουν και τον υπολογιστικό χρόνο. Γι' αυτό, η επιλογή κρίνεται κάθε φορά από το μέγεθος του προβλήματος και την ακρίβεια που θέλουμε να έχει το αποτέλεσμα.

Το μοντέλο διακριτού χρόνου είναι επίσης ακέραιου προγραμματισμού. Είναι και αυτό Q.A.P. και το γραμμικοποιούμε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με το μοντέλο απλής ανάθεσης. Μόνο που στο μοντέλο διακριτού χρόνου η μεταβλητή $Y_{ijt'j'}$ εμπεριέχει έμμεσα και τον χρόνο που θα ανατεθεί η πτήση i στην πύλη j και η πτήση i' στην πύλη j' . Συγκεκριμένα,

$$Y_{ijt'j'} = X_{ijt} X_{i't'j'} \quad (3.3.1)$$

με τη μεταβλητή απόφασης X_{ijt} να ορίζεται ως:

$$X_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{αν η πτήση } i \text{ ανατεθεί στην πύλη } j \text{ τη χρονική στιγμή } t \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases} \quad (3.3.2)$$

και με τη $Y_{ijt'j'}$ να ορίζεται ως:

$$Y_{ijt'j'} = \begin{cases} 1 & \text{αν η πτήση } i \text{ ανατεθεί στην πύλη } j \text{ και η πτήση } i' \text{ στην πύλη } j' \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases} \quad (3.3.3)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση για το συγκεκριμένο μοντέλο είναι η εξής:

$$Min Z = \sum_i \sum_j P_i^a D_j^a X_{ijt_i^a} + \sum_i \sum_j P_i^d D_j^d X_{ijt_i^d} + \sum_i \sum_{i'} \sum_j \sum_{j'} P_{ii'} D_{jj'} Y_{ijt'j'} \quad (3.3.4)$$

με περιορισμούς:

$$\sum_j X_{ijt} = 1, \quad \forall i, t_i^a \leq t \leq t_i^d \quad (3.3.5)$$

$$\sum_i X_{ijt} \leq 1, \quad \forall j, t \quad (3.3.6)$$

$$X_{ijt} \leq X_{ij(t+1)}, \quad \forall i, j, t_i^a \leq t \leq t_i^d - 1 \quad (3.3.7)$$

$$Y_{ij'j'} \geq X_{ijt} + X_{i'j't} - 1 \quad \forall i, i' \neq i, j, j' \neq j, t \quad (3.3.8)$$

$$Y_{ij'j'} = 0 \text{ ή } 1 \quad \forall i, i', j, j' \quad (3.3.9)$$

$$X_{ijt} = 0 \text{ ή } 1 \quad \forall i, j, t \quad (3.3.10)$$

Στην αντικειμενική συνάρτηση (3.3.4), το πρώτο σκέλος αφορά τους επιβάτες των αφίξεων, το δεύτερο των αναχωρήσεων και το τρίτο τους επιβάτες προς μετεπιβίβαση. Στο σκέλος που αφορά τους επιβάτες των αφίξεων, πολλαπλασιάζουμε τον αριθμό των επιβατών που φτάνουν με την πτήση i (P_i^a), με την απόσταση της πύλης j από την έξοδο (D_j^a), και τη μεταβλητή ανάθεσης για τη χρονική στιγμή της άφιξης. Η μεταβλητή X_{ijt} , παίρνει την τιμή ένα, για όλο το διάστημα που βρίσκεται η πτήση i στο έδαφος. Δηλαδή για $t_i^a \leq t \leq t_i^d$. Εμείς θέλουμε το γινόμενο $P_i^a D_j^a$ να προστεθεί μία φορά, για κάθε i και για κάθε j , στην αντικειμενική συνάρτηση. Γιατί οι επιβάτες θα περπατήσουν από την πύλη j προς την έξοδο μόνο μία φορά, τη χρονική στιγμή της άφιξης (t_i^a). Γι' αυτό, πολλαπλασιάζουμε το παραπάνω γινόμενο με τη μεταβλητή ανάθεσης που αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή άφιξης της πτήσης i ($X_{ijt_i^a}$). Το ίδιο κάνουμε και για τους επιβάτες που αναχωρούν, μόνο που τώρα, πολλαπλασιάζουμε με τη μεταβλητή ανάθεσης που αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή της αναχώρησης της πτήσης i ($X_{ijt_i^d}$).

Ο περιορισμός (3.3.5) δεν επιτρέπει σε μια πτήση i να ανατεθεί σε περισσότερες από μια πύλες για το χρονικό διάστημα που θα βρίσκεται στο έδαφος. Ο περιορισμός (3.3.6) εξασφαλίζει πως δε θα ανατεθεί παραπάνω από μια πτήση σε μια πύλη j την ίδια χρονική στιγμή. Ο περιορισμός (3.3.7), υποχρεώνει την πτήση i , για όσο θα βρίσκεται στο έδαφος, να εξυπηρετείται από την ίδια πύλη j . Ο τελευταίος περιορισμός (3.3.8) είναι η

γραμμικοποίηση της σχέσης $Y_{iji'j'} = X_{ijt}X_{i'j't'}$. Υποχρεώνει τη μεταβλητή $Y_{iji'j'}$ να πάρει την τιμή 1 όταν είναι εφικτή η μετεπιβίβαση. Δηλαδή, όταν την ίδια χρονική στιγμή t , η πτήση i βρίσκεται στην πύλη j και η πτήση i' βρίσκεται στην πύλη j' . Οι σχέσεις (3.3.9) και (3.3.10) δείχνουν τις τιμές που μπορούν να πάρουν οι μεταβλητές απόφασης $Y_{iji'j'}$ και X_{ijt} αντίστοιχα.

Να υπενθυμίσουμε πως στο μοντέλο της απλής ανάθεσης υπάρχει ο περιορισμός ο αριθμός των πυλών να είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των πτήσεων. Ο περιορισμός αυτός επιβάλλεται από τη δομή του προβλήματος, επειδή δε λαμβάνει υπόψη τη σειρά με την οποία έρχονται και φεύγουν οι πτήσεις. Στο μοντέλο διακριτού χρόνου δεν υπάρχει πλέον αυτός ο περιορισμός. Μπορούμε στα δεδομένα να ορίσουμε τη χρονική στιγμή άφιξης και αναχώρησης κάθε πτήσης. Αν μια πτήση φτάνει στο αεροδρόμιο και όλες οι πύλες είναι κατειλημμένες θα πρέπει να προσγειωθεί αφού ανοίξει μια πύλη. Αυτό βέβαια δεν μπορεί να συμβεί στην πραγματικότητα. Αυτό που μπορεί όμως να γίνει είναι να επανακαθοριστεί το πρόγραμμα αφίξεων και αναχωρήσεων, να γίνει δηλαδή re-scheduling.

3.4 Μοντέλο 3: Συνεχούς χρόνου

Στο μοντέλο συνεχούς χρόνου, ο χρόνος τώρα αντί για δείκτης είναι μια συνεχής μεταβλητή απόφασης. Εμείς καθορίζουμε το εύρος των τιμών που μπορεί να πάρει. Για παράδειγμα, αν το μοντέλο μας λειτουργεί για μία ημέρα και θέλουμε ακρίβεια λεπτών θα ορίσουμε τον χρόνο στο εύρος τιμών 1 έως 1440.

Το μοντέλο συνεχούς χρόνου είναι το εξής:

Αντικειμενική συνάρτηση:

$$Min Z = \sum_i \sum_{i'} \sum_j \sum_{j'} F_{iji'j'} D_{jj'} + \sum_i \sum_j \sum_n (P_i^a D_j^a + P_i^d D_j^d) X_{ijn} \quad (3.4.1)$$

Με τους εξής περιορισμούς:

$$\sum_{j,n} X_{ijn} = 1 \quad \forall i \quad (3.4.2)$$

Κάθε πτήση i να ανατεθεί μόνο σε μία πύλη j και μόνο με τη σειρά n .

$$-M(1 - X_{ijn}) + X_{i'jn} \leq 0 \quad \forall i, i' \neq i, j, n \quad (3.4.3)$$

Κάθε πύλη j μπορεί να εξυπηρετήσει μόνο μία πτήση i με τη σειρά n .

$$OTP_{ijn} = TA_i \cdot X_{ijn} \quad \forall i, j, n \quad (3.4.4)$$

Η χρονική στιγμή που θα ξεκινήσει η αποβίβαση της πτήσης i στην πύλη j με τη σειρά n πρέπει να ισούται με τη στιγμή άφιξης της πτήσης i .

$$OTP_{ijn} \leq M \cdot X_{ijn} \quad \forall i, j, n \quad (3.4.5)$$

Η αποβίβαση της πτήσης i στην πύλη j με τη σειρά n μπορεί να ξεκινήσει μόνο αν η πτήση i ανατεθεί στην πύλη j με τη σειρά n .

$$ITP_{ijn} = (TA_i + DIS_i + CLEAN_i) X_{ijn} \quad \forall i, j, n \quad (3.4.6)$$

Η χρονική στιγμή που θα ξεκινήσει η επιβίβαση της πτήσης i στην πύλη j με τη σειρά n πρέπει να ισούται με τη στιγμή άφιξης της πτήσης i συν τον χρόνο αποβίβασής της και τον χρόνο προετοιμασίας του αεροπλάνου.

$$ITP_{ijn} \leq M \cdot X_{ijn} \quad \forall i, j, n \quad (3.4.7)$$

Η επιβίβαση της πτήσης i στην πύλη j με τη σειρά n μπορεί να ξεκινήσει μόνο αν η πτήση i ανατεθεί στην πύλη j με τη σειρά n .

$$DEP_{ijn} = TD_i X_{ijn} \quad \forall i, j, n \quad (3.4.8)$$

Η χρονική στιγμή που θα αναχωρήσει η πτήση i από την πύλη j με τη σειρά n πρέπει να ισούται με την προκαθορισμένη στιγμή αναχώρησής της.

$$OTP_{i'jn} + M(1 - X_{i'jn}) > DEP_{i,j,n-1} - M(1 - X_{i,j,n-1}) \quad \forall i, i' \neq i, j, n > 0 \quad (3.4.9)$$

Η χρονική στιγμή που θα ξεκινήσει η αποβίβαση της πτήσης i στην πύλη j με τη σειρά n πρέπει να είναι μετά από τη χρονική στιγμή αναχώρησης μιας άλλης πτήσης i' από την ίδια πύλη με τη σειρά $n - 1$.

$$\begin{aligned} F_{ij'i'j'} &\leq P_{i'} + M \left(2 - \sum_n X_{ijn} - \sum_n X_{i'j'n} \right) \quad \forall i, i' \neq i, j, j' \neq j \\ F_{ij'i'j'} &\geq P_{i'} - M \left(2 - \sum_n X_{ijn} - \sum_n X_{i'j'n} \right) \quad \forall i, i' \neq i, j, j' \neq j \end{aligned} \quad (3.4.10)$$

Όταν υπάρξει ανάθεση της πτήσης i στην πύλη j με τη σειρά n και της πτήσης i' σε κάποια άλλη πύλη j' με τη σειρά n , τότε πρέπει να υπάρξει ροή επιβατών ανάμεσα στις δύο αυτές πτήσεις. Η ροή αυτή θα είναι τόση όση ορίζουν τα δεδομένα του προβλήματος.

$$X_{ijn} \leq \sum_{i' \neq i} X_{i'j,n-1} \quad \forall i, j, n > 0 \quad (3.4.11)$$

Αν κάποια πτήση i ανατεθεί στην πύλη j με τη σειρά n , τότε πρέπει κάποια άλλη πτήση i' να έχει ανατεθεί στην ίδια πύλη με τη σειρά $n - 1$.

Στην αντικειμενική συνάρτηση, όπως και στα προηγούμενα μοντέλα, ελαχιστοποιούμε την απόσταση που διανύουν συνολικά όλοι οι επιβάτες. Στο πρώτο σκέλος ελαχιστοποιούμε την απόσταση που περπατάνε οι επιβάτες που αλλάζουν πτήση. Τώρα, ο αριθμός των επιβατών είναι μεταβλητή απόφασης. Με τον περιορισμό (3.4.10) επιβάλλουμε στη μεταβλητή απόφασης που ορίζει τη ροή των επιβατών να πάρει τις τιμές που ορίζουν τα δεδομένα του προβλήματος. Στο δεύτερο σκέλος ελαχιστοποιούμε την απόσταση που διανύουν οι επιβάτες από και προς την είσοδο/έξοδο. Παρόλο που αθροίζουμε και ως προς τη σειρά ανάθεσης (n), λόγω των περιορισμών (3.4.2) και (3.4.3) αθροίζονται μόνο οι επιθυμητές αποστάσεις στην αντικειμενική συνάρτηση.

Σε αυτό το μοντέλο, όπως και στο μοντέλο διακριτού χρόνου, δεν υπάρχει ο περιορισμός για αριθμό πυλών μεγαλύτερο από τον αριθμό πτήσεων. Αν έχει προγραμματιστεί άφιξη πτήσης ενώ όλες οι πύλες είναι κατειλημμένες τότε πρέπει να γίνει επαναπρογραμματισμός.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αριθμητικά παραδείγματα που δοκιμάστηκαν για κάθε μοντέλο καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Για κάθε μοντέλο επιλύθηκαν παραδείγματα τριών διαφορετικών μεγεθών: μικρού, μεσαίου και μεγαλύτερου. Ο συνολικός αριθμός των παραδειγμάτων που εξετάστηκαν είναι δεκαπέντε. Στα παραδείγματα μεγάλου μεγέθους, λόγω έλλειψης υπολογιστικής ισχύος, δε βρέθηκε η βέλτιστη λύση αλλά αναζητήθηκε μία εφικτή. Τα ακριβή δεδομένα του κάθε παραδείγματος παραθέτονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η επίλυση έγινε στο εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής και Βιομηχανικής Διοίκησης του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, στην Πολυτεχνική Σχολή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τα χαρακτηριστικά του υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε είναι τα εξής:

- Επεξεργαστής: Intel(R) Core(TM) i5-3330 CPU @ 3.00GHz,
- Εγκατεστημένη μνήμη: 16.00 GB,
- Λογισμικό: Windows 7 Professional 64-bit.

Χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες CPLEX ILOG IBM σε γλώσσα προγραμματισμού C++ και σε γραφικό περιβάλλον Microsoft Visual Studio 2010.

4.2 Παρουσίαση παραδειγμάτων

Στην παρούσα εργασία υλοποιήθηκαν τρία μοντέλα για το πρόβλημα ανάθεσης πτήσεων σε πύλες. Ένα μοντέλο απλής ανάθεσης, ένα διακριτού και ένα συνεχούς χρόνου. Για τη δοκιμή των παραπάνω τριών μοντέλων σχεδιάστηκαν δεκαπέντε αριθμητικά παραδείγματα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε παράδειγμα αφορούν φανταστικό αεροδρόμιο, παρόλα αυτά είναι απολύτως ρεαλιστικά. Στα μοντέλα διακριτού και συνεχούς χρόνου επιχειρήθηκε να λυθούν παραδείγματα με τον χρόνο χωρισμένο σε ώρες και σε λεπτά. Για λόγους σύγκρισης χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δεδομένα. Τα παραδείγματα που εξετάστηκαν για κάθε μοντέλο, παρουσιάζονται συνοπτικά στους πίνακες 2, 3 και 4.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παράδειγμα	Αριθμός πτήσεων	Αριθμός πυλών
1	4	4
2	8	9
3	15	15

Πίνακας 2 Παρουσίαση παραδειγμάτων για το μοντέλο απλής ανάθεσης

Παράδειγμα	Αριθμός πτήσεων	Αριθμός πυλών	Μέγεθος χρονικού ορίζοντα
4	5	4	24 ώρες
5	5	4	1440 λεπτά
6	10	6	24 ώρες
7	10	6	1440 λεπτά
8	20	9	48 ώρες
9	11	7	1900 λεπτά

Πίνακας 3 Παρουσίαση παραδειγμάτων για το μοντέλο διακριτού χρόνου

Παράδειγμα	Αριθμός πτήσεων	Αριθμός πυλών	Μέγεθος χρονικού ορίζοντα
10	5	4	24 ώρες
11	5	4	1440 λεπτά
12	10	6	24 ώρες
13	10	6	1440 λεπτά
14	20	9	48 ώρες
15	20	9	2880 λεπτά

Πίνακας 4 Παρουσίαση παραδειγμάτων για το μοντέλο συνεχούς χρόνου

4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

4.3.1 Αποτελέσματα για το μοντέλο απλής ανάθεσης

Στο μοντέλο απλής ανάθεσης εξετάστηκαν τρία αριθμητικά παραδείγματα, μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5.

Παράδειγμα	Τιμή Αντικειμενικής	Χρόνος επίλυσης [sec]	Gap [%]
1	37840	0.41	0
2	163608	27.69	0
3	272774	148.93	43

Πίνακας 5 Αποτελέσματα μοντέλου απλής ανάθεσης

4.3.2 Αποτελέσματα για το μοντέλο διακριτού χρόνου

Στο μοντέλο διακριτού χρόνου εξετάστηκαν έξι αριθμητικά παραδείγματα. Δύο με τον χρόνο χωρισμένο σε ώρες και μεγέθους μικρού και μεσαίου. Δύο με τον χρόνο σε λεπτά και μεγέθους μικρού και μεσαίου. Ένα μεγάλου μεγέθους με τον χρόνο χωρισμένο σε ώρες. Επειδή το παράδειγμα μεγάλου μεγέθους άργησε να λυθεί, δοκιμάστηκε και αναζήτηση όχι της βέλτιστης αλλά μιας εφικτής λύσης. Για να βρούμε εφικτή λύση έγινε χρήση της εντολής `gapn`. Η συγκεκριμένη εντολή, αναζητά μία ακέραια εφικτή λύση σε σχετική απόσταση (`gap`) από τη βέλτιστη. Πόση θα είναι αυτή η απόσταση το ορίζουμε εμείς κάθε φορά.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο επιχειρήθηκε να λυθεί το παράδειγμα μεγάλου μεγέθους με τον χρόνο διακριτοποιημένο σε λεπτά. Επειδή δεν ήταν αρκετή η μνήμη του υπολογιστή για να ξεκινήσει την επίλυση, μειώσαμε τις διαστάσεις του τόσο ώστε να μπορεί να ξεκινήσει. Τα αποτελέσματα των παραδειγμάτων που εξετάστηκαν, παρουσιάζονται στον πίνακα 6.

Παράδειγμα	Τιμή Αντικειμενικής	Χρόνος επίλυσης [sec]	Gap [%]
4	51431	0.33	0
5	51431	0.08	0
6	119210	1.33	0
7	119210	1.25	0
8	238478	38.56	59
	220574	1501.89	0
9	110637	31.11 ^ο	0

Πίνακας 6 Αποτελέσματα μοντέλου διακριτού χρόνου

4.3.3 Αποτελέσματα για το μοντέλο συνεχούς χρόνου

Για το μοντέλο συνεχούς χρόνου εξετάστηκαν έξι αριθμητικά παραδείγματα. Τρία μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους με τον χρόνο χωρισμένο σε ώρες και τρία μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους με τον χρόνο χωρισμένο σε λεπτά. Στα προβλήματα μεγάλου μεγέθους, επειδή η υπολογιστική ισχύς δεν ήταν αρκετή για να βρεθεί η

ⁿhttp://pic.dhe.ibm.com/infocenter/cosinfoc/v12r2/topic/ilog.odms.cplex.help/Content/Optimization/Documentation/CPLEX/_pubskel/CPLEX973.html

^ο Χρόνος Presolver

βέλτιστη λύση, αναζητήθηκε μία εφικτή χρησιμοποιώντας gap. Επίσης, για να συγκρίνουμε το αποτέλεσμα του παραδείγματος μεγάλου μεγέθους (με το χρόνο σε ώρες), με το αντίστοιχο του μοντέλου διακριτού χρόνου (παράδειγμα 8) αφήσαμε την επίλυση να τρέξει για 25 λεπτά για να βρεθεί μια εφικτή λύση. Για να διακόψουμε την επίλυση στα 25 λεπτά έγινε χρήση της εντολής time limit^p. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 7.

Παράδειγμα	Τιμή Αντικειμενικής	Χρόνος επίλυσης [sec]	Gap [%]
10	51431	0.19	0
11	51431	0.25	0
12	119210	3.76	0
13	119210	2.42	0
14	238420	256.26	59
	334129	23.68	86
	233918	1499.38	36.79
15	234497	358.51	59
	271472	8.42	86

Πίνακας 7 Αποτελέσματα μοντέλου συνεχούς χρόνου

4.4 Σύγκριση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

4.4.1 Μοντέλο απλής ανάθεσης

Στο μοντέλο απλής ανάθεσης εξετάστηκαν τρία παραδείγματα διαφορετικού μεγέθους το καθένα. Ο πίνακας 8 δείχνει την αύξηση σε χρόνο υπολογισμού, αυξάνοντας το μέγεθος του παραδείγματος.

	Παράδειγμα 1 (4 πτήσεις 4 πύλες)	Παράδειγμα 2 (8 πτήσεις 9 πύλες)	Διαφορά	Ποσοστιαία διαφορά
Χρόνος επίλυσης [sec]	0.41	27.69	-27.28	6654%
	Παράδειγμα 2 (8 πτήσεις 9 πύλες)	Παράδειγμα 2 (15 πτήσεις 15 πύλες)	Διαφορά	Ποσοστιαία διαφορά
Χρόνος επίλυσης [sec]	27.69	148.93	-121.24	439%

Πίνακας 8 Συσχετισμός μεγέθους & χρόνου επίλυσης για το μοντέλο απλής ανάθεσης

^phttp://pic.dhe.ibm.com/infocenter/cosinfoc/v12r2/topic/ilog.odms.cplex.help/Content/Optimization/Documentation/CPLEX/_pubskel/CPLEX1072.html

4.4.2 Μοντέλο διακριτού χρόνου

Για το μοντέλο διακριτού χρόνου δοκιμάστηκαν και επιλύθηκαν 6 παραδείγματα. Τα παραδείγματα 4 και 5 ήταν μικρού μεγέθους, ενώ τα παραδείγματα 6 και 7 μεσαίου. Στα παραδείγματα 4 και 6 ο χρόνος ήταν χωρισμένος σε ώρες και τα υπόλοιπα δεδομένα κοινά. Στα παραδείγματα 5 και 7 ο χρόνος ήταν χωρισμένος σε λεπτά και τα υπόλοιπα δεδομένα κοινά. Όπως φαίνεται στον πίνακα 6, για μικρού και μεσαίου μεγέθους παραδείγματα, η ταχύτητα επίλυσης δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη διακριτοποίηση που θα κάνουμε στον χρόνο. Αντίθετα, στο παράδειγμα μεγάλου μεγέθους είναι σημαντικό αν θα διαλέξουμε να χωρίσουμε τον χρόνο σε ώρες ή σε λεπτά. Για να φτάσουμε στη βέλτιστη λύση με τον χρόνο χωρισμένο ώρες χρειάστηκαν περίπου 1500 δευτερόλεπτα υπολογιστικού χρόνου. Κρατώντας τα δεδομένα ίδια και αλλάζοντας τον χρόνο από ώρες σε λεπτά το μοντέλο δεν ξεκίνησε καν να λύνεται. Δεν ήταν αρκετή η μνήμη του υπολογιστή (out of memory error). Γι' αυτό, μειώσαμε τα δεδομένα του παραδείγματος 9 για να δούμε ποιο μέγεθος παραδείγματος μπορεί να επιλύσει ο υπολογιστής.

Επειδή το παράδειγμα 8 (μεγάλου μεγέθους, χρόνος σε ώρες) χρειάστηκε πολύ χρόνο για να λυθεί, δοκιμάσαμε να αναζητήσουμε εφικτή λύση σε 59% gap. Στον πίνακα 9 συγκρίνονται η βέλτιστη λύση και η λύση με gap.

	Gap 59%	Gap 0%	Διαφορά	Ποσοστιαία διαφορά
Αντικειμενική	238478	220574	17904	7.51%
Χρόνος επίλυσης [sec]	38.56	1501.89	-1463.33	-3795%

Πίνακας 9 Σύγκριση αποτελεσμάτων παραδείγματος 8 (μεγάλο μέγεθος, χρόνος σε ώρες)

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται πως η βέλτιστη λύση είναι κατά 7.51% καλύτερη από τη λύση που παίρνουμε για gap 59% ενώ ο χρόνος υπολογισμού αυξάνεται σχεδόν 38 φορές.

4.4.3 Μοντέλο συνεχούς χρόνου

Στο μοντέλο συνεχούς χρόνου, τα μεγάλου μεγέθους αριθμητικά παραδείγματα - λόγω έλλειψης υπολογιστικής ισχύος - δεν έδωσαν τη βέλτιστη λύση. Αναγκαστήκαμε να διακόψουμε την επίλυση και να αναζητήσουμε εφικτή λύση χρησιμοποιώντας την εντολή για gap. Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα εξετάστηκαν διάφορα ποσοστά gap σε κάθε παράδειγμα. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων παρουσιάζονται στους πίνακες 10 και 11.

	Gap 86%	Gap 59%	Διαφορά	Ποσοστιαία διαφορά
Αντικειμενική	334129	238420	95709	28.64%
Χρόνος επίλυσης [sec]	23.68	256.26	-232.58	982%

Πίνακας 10 Σύγκριση αποτελεσμάτων παραδείγματος 14 (μεγάλο μέγεθος, χρόνος σε ώρες)

Παρατηρούμε ότι για gap 59% παίρνουμε κατά 28.64% καλύτερη λύση από τη λύση που δίνει το gap 86%, ενώ ο χρόνος υπολογισμού αυξάνεται περίπου 10 φορές.

	Gap 86%	Gap 59%	Διαφορά	Ποσοστιαία διαφορά
Αντικειμενική	271472	234497	36975	13.6%
Χρόνος επίλυσης [sec]	8.42	358.51	-350,09	-4158%

Πίνακας 11 Σύγκριση αποτελεσμάτων παραδείγματος 15 (μεγάλο μέγεθος, χρόνος σε λεπτά)

Στο παράδειγμα 15 (μεγάλο μέγεθος, χρόνος σε λεπτά) δοκιμάσαμε gap 59% και 86%. Για gap 59% παίρνουμε κατά 13.6% καλύτερη λύση από τη λύση που δίνει το gap 86% ενώ ο χρόνος υπολογισμού αυξάνεται 41 φορές.

4.4.4 Σύγκριση μοντέλων διακριτού και συνεχούς χρόνου

Στα μοντέλα συνεχούς και διακριτού χρόνου, χρησιμοποιήσαμε τα ίδια δεδομένα έτσι ώστε να μπορέσουμε να συγκρίνουμε καλύτερα τα μοντέλα μεταξύ τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπου χρειάστηκε να αναζητήσουμε εφικτή λύση, αντί για βέλτιστη, χρησιμοποιήσαμε και το ίδιο ποσοστό gap. Για τα παραδείγματα μικρού και μεσαίου μεγέθους, είτε χωρίσουμε τον χρόνο σε ώρες είτε σε λεπτά τα δύο μοντέλα βρίσκουν την ίδια λύση σε κοντινούς χρόνους. Για τα παραδείγματα μεγάλου μεγέθους, χωρίζοντας τον χρόνο σε λεπτά, αυξάνεται ο χρόνος επίλυσης. Συγκεκριμένα, για το μοντέλο συνεχούς χρόνου, χωρίζοντας τον χρόνο σε λεπτά (παράδειγμα 15) και για gap 59% ο χρόνος αυξάνεται περίπου 100 δευτερόλεπτα. Αυξάνεται δηλαδή σχεδόν 40% σε σχέση με τον χρόνο επίλυσης του παραδείγματος 14, όπου ο χρόνος είναι χωρισμένος σε ώρες. Για το μοντέλο διακριτού χρόνου, όταν στο παράδειγμα μεγάλου μεγέθους χωρίσαμε τον χρόνο σε λεπτά, δεν έφτασε η μνήμη του υπολογιστή για να ξεκινήσει η επίλυση.

Παρόλο που το μοντέλο διακριτού χρόνου χρειάζεται παραπάνω μνήμη για να ξεκινήσει η επίλυση, αφού ξεκινήσει, βρίσκει γρηγορότερα τη βέλτιστη λύση. Συγκεκριμένα, στο παράδειγμα 8 (μεγάλου μεγέθους, χρόνος σε ώρες), για να βρεθεί η βέλτιστη λύση χρειάστηκε να περάσουν 25 λεπτά (1501 δευτερόλεπτα). Στον ίδιο χρόνο, το μοντέλο συνεχούς χρόνου δε βρήκε τη βέλτιστη λύση αλλά μία εφικτή, περίπου 6% χειρότερη της βέλτιστης.

	Μοντέλο διακριτού χρόνου	Μοντέλο συνεχούς χρόνου
Τιμή αντικειμενικής	220574	233918
Χρόνος επίλυσης [sec]	1501.89	1499.38
Gap	0% (βέλτιστη)	36.79%

Πίνακας 12 Σύγκριση αποτελεσμάτων παραδειγμάτων 8 και 14 (μεγάλο μέγεθος, χρόνος σε ώρες)

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία προσπαθήσαμε να λύσουμε το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης της απόστασης βαδίσματος μέσα σε αεροδρόμιο. Το πρόβλημα αυτό λύνεται αναθέτοντας τις πτήσεις στις κατάλληλες πύλες, είναι δηλαδή ένα πρόβλημα ανάθεσης. Για να προχωρήσουμε στην επίλυση, μοντελοποιήσαμε το πρόβλημα με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Αρχικά, δεν πήραμε υπόψη τον χρόνο και έτσι προέκυψε το μοντέλο απλής ανάθεσης. Στη συνέχεια, θεωρήσαμε ότι ο χρόνος παίρνει διακριτές τιμές και έπειτα συνεχείς. Έτσι, προέκυψαν τα μοντέλα διακριτού και συνεχούς χρόνου αντίστοιχα. Αρχικά, τα μοντέλα απλής ανάθεσης και διακριτού χρόνου προέκυψαν να είναι τετραγωνικού προγραμματισμού (Q.A.P.), δηλαδή μη γραμμικά, οπότε αναγκαστήκαμε να τα γραμμικοποιήσουμε για να προχωρήσουμε στην επίλυσή τους.

Το μοντέλο απλής ανάθεσης μας δημιούργησε το εξής πρόβλημα: ο αριθμός των πυλών πρέπει να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από τον αριθμό των πτήσεων. Αν περισσεύει μία πτήση πρέπει να επιλύσουμε το πρόβλημα δύο φορές. Τη δεύτερη φορά υποθέτουμε ότι οι προηγούμενες πτήσεις έχουν εξυπηρετηθεί και η πτήση που περισσεύει είναι η μόνη που μένει να αναθέσουμε. Το παραπάνω πρόβλημα λύθηκε στα επόμενα δύο μοντέλα, όπου λαμβάνουμε υπόψη το χρόνο. Σε αυτά τα μοντέλα δε χρειάζεται να επιλύσουμε παραπάνω φορές αν οι πτήσεις είναι περισσότερες από τις πύλες. Όταν εξυπηρετηθούν οι προηγούμενες πτήσεις το μοντέλο εξυπηρετεί αυτές που περισσεύουν.

Για την επίλυση χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες CPLEX της IBM. Για κάθε μοντέλο επιλύσαμε παραδείγματα τριών διαφορετικών μεγεθών: μικρού, μεσαίου και μεγαλύτερου. Επιπλέον, για τα μοντέλα διακριτού και συνεχούς χρόνου επιχειρήθηκε να λυθούν παραδείγματα με τον χρόνο χωρισμένο σε ώρες και σε λεπτά. Όπως απέδειξαν πολλοί ερευνητές που ασχολήθηκαν με την ανάθεση πυλών αεροδρομίου, για να λύσουμε προβλήματα μεγάλου μεγέθους χρειαζόμαστε μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Στο μοντέλο απλής ανάθεσης, στα παραδείγματα μικρού και μεσαίου μεγέθους η βέλτιστη λύση βρέθηκε σχετικά γρήγορα. Στο παράδειγμα μεγάλου μεγέθους έπρεπε να διακόψουμε την επίλυση και να αναζητήσουμε μία εφικτή λύση με gap.

Στα μοντέλα διακριτού και συνεχούς χρόνου δοκιμάσαμε παραδείγματα με τα ίδια δεδομένα. Έτσι, καταφέραμε να συγκρίνουμε τα δύο μοντέλα. Τα παραδείγματα μικρού και μεσαίου μεγέθους που δοκιμάσαμε, δώσανε γρήγορα τη βέλτιστη λύση, ανεξάρτητα της διακριτοποίησης του χρόνου. Αντίθετα, τα παραδείγματα μεγάλου μεγέθους

χρειάστηκαν πολύ περισσότερο υπολογιστικό χρόνο. Στο παράδειγμα όπου ο χρόνος είναι χωρισμένος σε ώρες, ο υπολογιστής χρειάστηκε περίπου εικοσιπέντε λεπτά για να λύσει το μοντέλο διακριτού χρόνου. Για το ίδιο διάστημα, το μοντέλο συνεχούς χρόνου δεν έδωσε βέλτιστη λύση αλλά μία εφικτή. Όταν χωρίσαμε τον χρόνο σε λεπτά καμία από τις δύο μοντελοποιήσεις δεν οδήγησε σε βέλτιστη λύση. Μάλιστα, για το μοντέλο διακριτού χρόνου δεν επαρκούσε η μνήμη του υπολογιστή. Γι' αυτό, αναγκαστήκαμε να μειώσουμε το μέγεθός του.

6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

6.1 Δεδομένα παραδειγμάτων και αποτελέσματα

6.1.1 Παράδειγμα 1

	0	1	2	3	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94		3
1	3		9	91		7
2	6	9		94		9
3	94	91	94			21
Είσοδος	5	9	8	21		
Έξοδος						

Πίνακας 13 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 1

	0	1	2	3	Είσοδος	Έξοδος
0		135	35	120		100
1	150		33	12		20
2	48	52		42		35
3	19	34	133			13
Είσοδος	10	90	46	79		
Έξοδος						

Πίνακας 14 Ροές επιβατών μεταξύ πτήσεων για το παράδειγμα 1

Πτήση	Πύλη Ανάθεσης
0	0
1	1
2	3
3	2

Πίνακας 15 Αναθέσεις πτήσεων για το παράδειγμα 1

Πτήσεις	0	1	2	3
0		✓	✓	✓
1	✓		✓	✓
2	✓	✓		✓
3	✓	✓	✓	

Πίνακας 16 Μετεπιβιβάσεις για το παράδειγμα 1

6.1.2 Παράδειγμα 2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94	82	162	128	219	224		3
1	3		9	91	70	165	162	223	230		7
2	6	9		94	61	155	122	213	219		9
3	94	91	94		34	61	101	67	75		21
4	82	70	61	34		34	61	79	86		78
5	162	165	155	61	34		34	58	78		73
6	128	162	122	101	61	34		34	84		45
7	219	223	213	67	152	58	34		44		65
8	224	230	223	75	86	78	84	44			69
Είσοδος	5	9	8	21	65	85	48	35	31		
Έξοδος											

Πίνακας 17 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 2

	0	1	2	3	4	5	6	7	Είσοδος	Έξοδος
0		135	35	120	135	15	25	9		100
1	150		33	12	172	17	7	16		20
2	48	52		42	112	12	13	6		35
3	19	34	133		59	9	9	26		13
4	42	78	11	112		22	9	19		41
5	13	23	3	12	35		32	9		111
6	2	9	13	2	3	33		5		141
7	6	27	7	27	16	6	6			174
Είσοδος	10	90	46	79	26	198	200	198		
Έξοδος										

Πίνακας 18 Ροές επιβατών μεταξύ πτήσεων για το παράδειγμα 2

Πτήση	Πύλη Ανάθεσης
0	3
1	4
2	6
3	7
4	5
5	1
6	0
7	2

Πίνακας 19 Αναθέσεις πτήσεων για το παράδειγμα 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πτήσεις	0	1	2	3	4	5	6	7
0		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓			✓
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Πίνακας 20 Μετεπιβιβάσεις για το παράδειγμα 2

6.1.3 Παράδειγμα 3

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94	82	162	128	219	224	35	120	135	15	25	9		3
1	3		9	91	70	165	162	223	230	33	12	172	17	7	16		7
2	6	9		94	61	155	122	213	219	52	42	112	12	13	6		9
3	94	91	94		34	61	101	67	75	34	133	59	9	9	26		21
4	82	70	61	34		34	61	79	86	78	11	112	22	9	19		78
5	162	165	155	61	34		34	58	78	23	3	12	35	32	9		73
6	128	162	122	101	61	34		34	84	9	13	2	3	33	5		45
7	219	223	213	67	152	58	34		44	27	7	27	16	6	6		65
8	224	230	223	75	86	78	84	44		15	14	13	16	6	7		69
9	17	7	6	13	3	4	5	6	1		12	22	18	8	9		78
10	6	13	1	3	15	5	7	13	3	2		16	15	5	4		76
11	3	4	2	15	16	14	13	11	11	14	1		3	5	8		84
12	9	32	12	12	11	1	13	24	16	16	16	14		13	3		81
13	13	2	4	7	8	3	2	4	7	8	1	12	9		10		83
14	15	13	13	2	13	4	5	6	9	10	3	3	1	12			90
Είσοδος	5	9	8	21	65	85	48	35	31	94	40	43	49	49	48		
Έξοδος																	

Πίνακας 21 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 3

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Είσοδος	Έξοδος
0		135	35	120	135	15	25	9	135	35	120	135	15	25	9		100
1	150		33	12	172	17	7	16	150	33	12	172	17	7	16		20
2	48	52		42	112	12	13	6	48	52	42	112	12	13	6		35
3	19	34	133		59	9	9	26	19	34	133	59	9	9	26		13
4	42	78	11	112		22	9	19	42	78	11	112	42	78	11		41
5	13	23	3	12	35		32	9	13	23	3	12	35	32	9		111
6	2	9	13	2	3	33		5	2	9	13	2	3	33	5		141
7	6	27	7	27	16	6	6		6	27	7	27	16	6	6		174
8	1	21	12	13	13	41	51	15		15	14	13	16	6	7		131
9	17	7	6	13	3	4	5	6	1		12	22	18	8	9		134
10	6	13	1	3	15	5	7	13	3	2		16	15	5	4		165
11	3	4	2	15	16	14	13	11	11	14	1		3	5	8		135
12	9	32	12	12	11	1	13	24	16	16	16	14		13	3		128
13	13	2	4	7	8	3	2	4	7	8	1	12	9		10		172

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Είσοδος	Έξοδος
14	15	13	13	2	13	4	5	6	9	10	3	3	1	12			182
Είσοδος	10	90	46	79	26	198	200	198	162	172	166	114	160	154	152		
Έξοδος																	

Πίνακας 22 Ροές επιβατών μεταξύ πτήσεων για το παράδειγμα 3

Πτήση	Πύλη Ανάθεσης
0	9
1	12
2	14
3	13
4	11
5	10
6	7
7	3
8	8
9	0
10	2
11	5
12	1
13	6
14	4

Πίνακας 23 Αναθέσεις πτήσεων για το παράδειγμα 3

Πτήσεις	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Πίνακας 24 Μετεπιβιβάσεις για το παράδειγμα 3

6.1.4 Παράδειγμα 4

Πτήση	Αφίξη	Αναχώρηση	Πύλη ανάθεσης
0	1	5	0
1	2	9	1
2	3	10	3
3	5	10	2
4	6	10	0

Πίνακας 25 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 4

	0	1	2	3	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94		3
1	3		9	91		7
2	6	9		94		9
3	94	91	94			21
Είσοδος	5	9	8	21		
Έξοδος						

Πίνακας 26 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 4

	0	1	2	3	4	Είσοδος	Έξοδος
0		135	35	120	0		100
1	150		33	12	172		20
2	48	52		42	112		35
3	19	34	133		59		13
4	0	78	11	112			41
Είσοδος	10	90	46	79	26		
Έξοδος							

Πίνακας 27 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 4^q

6.1.5 Παράδειγμα 5

Πτήση	Αφίξη	Αναχώρηση	Πύλη ανάθεσης
0	60	300	0
1	120	540	1
2	180	600	3
3	300	600	2
4	360	600	0

Πίνακας 28 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε λεπτά) για το παράδειγμα 5

^q Μηδενική ροή σημαίνει πως δεν έγινε σύνδεση των δύο πτήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

	0	1	2	3	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94		3
1	3		9	91		7
2	6	9		94		9
3	94	91	94			21
Είσοδος	5	9	8	21		
Έξοδος						

Πίνακας 29 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 5

	0	1	2	3	4	Είσοδος	Έξοδος
0		135	35	120	0		100
1	150		33	12	172		20
2	48	52		42	112		35
3	19	34	133		59		13
4	0	78	11	112			41
Είσοδος	10	90	46	79	26		
Έξοδος							

Πίνακας 30 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 5

Πτήσεις	0	1	2	3	4
0		✓	✓	✓	✗
1	✓		✓	✓	✗
2	✓	✓		✓	✓
3	✓	✓	✓		✓
4	✗	✓	✓	✓	

Πίνακας 31 Μετεπιβιβάσεις για το παράδειγμα 5

6.1.6 Παράδειγμα 6

Πτήση	Αφίξη	Αναχώρηση	Πύλη ανάθεσης
0	1	5	1
1	2	9	0
2	3	10	4
3	5	10	2
4	6	10	1
5	6	8	3
6	7	12	5
7	10	12	0
8	10	12	3
9	15	16	0

Πίνακας 32 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

	0	1	2	3	4	5	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94	82	162		3
1	3		9	91	70	165		7
2	6	9		94	61	155		9
3	94	91	94		34	61		21
4	82	70	61	34		34		78
5	162	165	155	61	34			73
Είσοδος	5	9	8	21	65	85		
Έξοδος								

Πίνακας 33 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 6

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Είσοδος	Έξοδος
0		135	35	120	0	0	0	0	0	0		100
1	150		33	12	172	17	7	0	0	0		20
2	48	52		42	112	12	13	6	18	0		35
3	19	34	133		59	9	9	26	2	0		13
4	0	78	11	112		22	9	19	1	0		41
5	0	23	3	12	35		32	0	0	0		111
6	0	9	13	2	3	33		5	6	0		141
7	0	0	7	27	16	0	6		6	0		174
8	0	0	3	4	8	0	5	7		0		178
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0			189
Είσοδος	10	90	46	79	26	198	200	198	185	190		
Έξοδος												

Πίνακας 34 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 6

6.1.7 Παράδειγμα 7

Πτήση	Αφίξη	Αναχώρηση	Πύλη ανάθεσης
0	60	300	1
1	120	540	0
2	180	600	4
3	300	600	2
4	360	600	1
5	360	480	3
6	420	720	5
7	600	720	0
8	600	720	3
9	900	960	0

Πίνακας 35 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε λεπτά) για το παράδειγμα 7

	0	1	2	3	4	5	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94	82	162		3
1	3		9	91	70	165		7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

	0	1	2	3	4	5	Είσοδος	Έξοδος
2	6	9		94	61	155		9
3	94	91	94		34	61		21
4	82	70	61	34		34		78
5	162	165	155	61	34			73
Είσοδος	5	9	8	21	65	85		
Έξοδος								

Πίνακας 36 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 7

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Είσοδος	Έξοδος
0		135	35	120	0	0	0	0	0	0		100
1	150		33	12	172	17	7	0	0	0		20
2	48	52		42	112	12	13	6	18	0		35
3	19	34	133		59	9	9	26	2	0		13
4	0	78	11	112		22	9	19	1	0		41
5	0	23	3	12	35		32	0	0	0		111
6	0	9	13	2	3	33		5	6	0		141
7	0	0	7	27	16	0	6		6	0		174
8	0	0	3	4	8	0	5	7		0		178
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0			189
Είσοδος	10	90	46	79	26	198	200	198	185	190		
Έξοδος												

Πίνακας 37 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 7

6.1.8 Παράδειγμα 8

Πτήση	Αφιξη	Αναχώρηση	Πύλη ανάθεσης
0	-	5	1
1	2	9	0
2	3	10	4
3	5	10	2
4	6	10	1
5	6	8	3
6	7	12	6
7	10	12	0
8	10	12	3
9	15	16	0
10	25	29	1
11	26	33	0
12	27	34	4
13	29	34	2
14	30	34	1
15	30	32	3
16	31	36	6
17	34	36	0
18	34	36	3
19	39	40	0

Πίνακας 38 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94	82	162	128	219	224		3
1	3		9	91	70	165	162	223	230		7
2	6	9		94	61	155	122	213	219		9
3	94	91	94		34	61	101	67	75		21
4	82	70	61	34		34	61	79	86		78
5	162	165	155	61	34		34	58	78		73
6	128	162	122	101	61	34		34	84		45
7	219	223	213	67	152	58	34		44		65
8	224	230	223	75	86	78	84	44			69
Είσοδος	5	9	8	21	65	85	48	35	31		
Έξοδος											

Πίνακας 39 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 8

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Είσοδος	Έξοδος
0	0	135	35	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
1	150	52	33	42	172	17	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
2	48	34	133	112	59	9	9	6	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	
3	19	78	11	112	22	9	9	26	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	
4	0	23	3	12	35	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	
5	0	9	13	2	3	33	5	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111	
6	0	0	7	27	16	0	6	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141	
7	0	0	3	4	8	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	35	120	0	0	0	0	0	0	0	100	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	52	33	42	172	17	7	0	0	0	0	20	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	34	133	112	59	9	9	6	18	2	0	35	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	78	11	112	22	9	9	26	2	0	0	13	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	3	12	35	33	5	6	6	0	0	41	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	13	2	3	33	5	6	6	0	0	111	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	27	16	0	6	7	6	0	0	141	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	8	0	5	7	6	0	0	174	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178	
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189	
Είσοδος	10	90	46	79	26	198	200	198	185	190	10	90	46	79	26	198	200	198	185	190		
Έξοδος																						

Πίνακας 40 Ροές επιβατών για το παρόδειγμα 8

6.1.9 Παράδειγμα 9

Πτήση	Αφίξη	Αναχώρηση	Πύλη ανάθεσης
0	60	300	1
1	120	540	0
2	180	600	4
3	300	600	2
4	360	600	1
5	360	480	3
6	420	720	6
7	600	720	0
8	600	720	3
9	900	960	0
10	1500	1740	0

Πίνακας 41 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε λεπτά) για το παράδειγμα 9

	0	1	2	3	4	5	6	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94	82	162	128		3
1	3		9	91	70	165	162		7
2	6	9		94	61	155	122		9
3	94	91	94		34	61	101		21
4	82	70	61	34		34	61		78
5	162	165	155	61	34		34		73
6	128	162	122	101	61	34			45
Είσοδος	5	9	8	21	65	85	48		
Έξοδος									

Πίνακας 42 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 9

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Είσοδος	Έξοδος
0		135	35	120	0	0	0	0	0	0	0		100
1	150		33	12	172	17	7	0	0	0	0		20
2	48	52		42	112	12	13	6	18	0	0		35
3	19	34	133		59	9	9	26	2	0	0		13
4	0	78	11	112		22	9	19	1	0	0		41
5	0	23	3	12	35		32	0	0	0	0		111
6	0	9	13	2	3	33		5	6	0	0		141
7	0	0	7	27	16	0	6		6	0	0		174
8	0	0	3	4	8	0	5	7		0	0		178
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		189
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			100
Είσοδος	10	90	46	79	26	198	200	198	185	190	10		
Έξοδος													

Πίνακας 43 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 9

6.1.10 Παράδειγμα 10

Πτήση	Αφιξη	Αναχώρηση	Πύλη ανάθεσης	Έναρξη αποβίβασης	Έναρξη επιβίβασης
0	1	5	0	1	2
1	2	9	1	2	3
2	3	10	3	3	4
3	5	10	2	5	6
4	6	10	0	6	7

Πίνακας 44 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 10

	0	1	2	3	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94		3
1	3		9	91		7
2	6	9		94		9
3	94	91	94			21
Είσοδος	5	9	8	21		
Έξοδος						

Πίνακας 45 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 10

	0	1	2	3	4	Είσοδος	Έξοδος
0		135	35	120	0		100
1	150		33	12	172		20
2	48	52		42	112		- 35
3	19	34	133		59		13
4	0	78	11	112			41
Είσοδος	10	90	46	79	26		
Έξοδος							

Πίνακας 46 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 10

Χρόνος για αποβίβαση όλων των επιβατών από κάθε πτήση: 1/2 ώρα.

Χρόνος καθαρισμού προετοιμασίας κάθε πτήσης: 1/2 ώρα.

6.1.11 Παράδειγμα 11

Πτήση	Αφιξη	Αναχώρηση	Πύλη ανάθεσης	Έναρξη αποβίβασης	Έναρξη επιβίβασης
0	60	300	0	60	120
1	120	540	1	120	180
2	180	600	3	180	240
3	300	600	2	300	360
4	360	600	0	360	420

Πίνακας 47 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε λεπτά) για το παράδειγμα 11

	0	1	2	3	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94		3
1	3		9	91		7
2	6	9		94		9
3	94	91	94			21
Είσοδος	5	9	8	21		
Έξοδος						

Πίνακας 48 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 11

	0	1	2	3	4	Είσοδος	Έξοδος
0		135	35	120	0		100
1	150		33	12	172		20
2	48	52		42	112		35
3	19	34	133		59		13
4	0	78	11	112			41
Είσοδος	10	90	46	79	26		
Έξοδος							

Πίνακας 49 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 11

Χρόνος για αποβίβαση όλων των επιβατών από κάθε πτήση: 30 λεπτά.

Χρόνος καθαρισμού προετοιμασίας κάθε πτήσης: 30 λεπτά.

6.1.12 Παράδειγμα 12

Πτήση	Αφιξη	Αναχώρηση	Πύλη ανάθεσης	Έναρξη αποβίβασης	Έναρξη επιβίβασης
0	1	5	1	1	2
1	2	9	0	2	3
2	3	10	4	3	4
3	5	10	2	5	6
4	6	10	1	6	7
5	6	8	3	6	7
6	7	12	5	7	8
7	10	12	0	10	11
8	10	12	3	10	11
9	15	16	0	15	16

Πίνακας 50 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 12

	0	1	2	3	4	5	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94	82	162		3
1	3		9	91	70	165		7
2	6	9		94	61	155		9
3	94	91	94		34	61		21
4	82	70	61	34		34		78
5	162	165	155	61	34			73
Είσοδος	5	9	8	21	65	85		
Έξοδος								

Πίνακας 51 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 12

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Είσοδος	Έξοδος
0		135	35	120	0	0	0	0	0	0		100
1	150		33	12	172	17	7	0	0	0		20
2	48	52		42	112	12	13	6	18	0		35
3	19	34	133		59	9	9	26	2	0		13
4	0	78	11	112		22	9	19	1	0		41
5	0	23	3	12	35		32	0	0	0		111
6	0	9	13	2	3	33		5	6	0		141
7	0	0	7	27	16	0	6		6	0		174
8	0	0	3	4	8	0	5	7		0		178
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0			189
Είσοδος	10	90	46	79	26	198	200	198	185	190		
Έξοδος												

Πίνακας 52 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Χρόνος για αποβίβαση όλων των επιβατών από κάθε πτήση: 1/2 ώρα.

Χρόνος καθαρισμού προετοιμασίας κάθε πτήσης: 1/2 ώρα.

6.1.13 Παράδειγμα 13

Πτήση	Αφιξη	Αναχώρηση	Πύλη ανάθεσης	Έναρξη αποβίβασης	Έναρξη επιβίβασης
0	60	300	1	60	120
1	120	540	0	120	180
2	180	600	4	180	240
3	300	600	2	300	360
4	360	600	1	360	420
5	360	480	3	360	420
6	420	720	5	420	480
7	600	720	0	600	660
8	600	720	3	600	660
9	900	960	0	900	960

Πίνακας 53 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 13

	0	1	2	3	4	5	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94	82	162		3
1	3		9	91	70	165		7
2	6	9		94	61	155		9
3	94	91	94		34	61		21
4	82	70	61	34		34		78
5	162	165	155	61	34			73
Είσοδος	5	9	8	21	65	85		
Έξοδος								

Πίνακας 54 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 13

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Είσοδος	Έξοδος
0		135	35	120	0	0	0	0	0	0		100
1	150		33	12	172	17	7	0	0	0		20
2	48	52		42	112	12	13	6	18	0		35
3	19	34	133		59	9	9	26	2	0		13
4	0	78	11	112		22	9	19	1	0		41
5	0	23	3	12	35		32	0	0	0		111
6	0	9	13	2	3	33		5	6	0		141
7	0	0	7	27	16	0	6		6	0		174
8	0	0	3	4	8	0	5	7		0		178
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0			189
Είσοδος	10	90	46	79	26	198	200	198	185	190		
Έξοδος												

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 55 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 13

Χρόνος για αποβίβαση όλων των επιβατών από κάθε πτήση: 30 λεπτά.

Χρόνος καθαρισμού προετοιμασίας κάθε πτήσης: 30 λεπτά.

6.1.14 Παράδειγμα 14

Πτήση	Αφιξη	Αναχώρηση	Πύλη ανάθεσης Gap 0.59	Πύλη ανάθεσης Gap 0.86	Πύλη ανάθεσης Time limit 1501 sec	Έναρξη αποβίβασης	Έναρξη επιβίβασης
0	1	5	1	1	2	1	2
1	2	9	0	0	1	2	3
2	3	10	4	8	3	3	4
3	5	10	3	3	4	5	6
4	6	10	1	4	2	6	7
5	6	8	2	2	0	6	7
6	7	12	6	1	6	7	8
7	10	12	0	2	1	10	11
8	10	12	2	0	0	10	11
9	15	16	0	0	0	15	16
10	25	29	0	0	1	25	26
11	26	33	2	4	0	26	27
12	27	34	4	5	4	27	28
13	29	34	1	3	2	29	30
14	30	34	0	6	1	30	31
15	30	32	3	2	3	30	31
16	31	36	6	1	6	31	32
17	34	36	2	0	0	34	35
18	34	36	3	2	3	34	35
19	39	40	0	0	0	39	40

Πίνακας 56 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε ώρες) για το παράδειγμα 14

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94	82	162	128	219	224		3
1	3		9	91	70	165	162	223	230		7
2	6	9		94	61	155	122	213	219		9
3	94	91	94		34	61	101	67	75		21
4	82	70	61	34		34	61	79	86		78
5	162	165	155	61	34		34	58	78		73
6	128	162	122	101	61	34		34	84		45
7	219	223	213	67	152	58	34		44		65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Είσοδος	Έξοδος
8	224	230	223	75	86	78	84	44			69
Είσοδος	5	9	8	21	65	85	48	35	31		
Έξοδος											

Πίνακας 57 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 14

Χρόνος για αποβίβαση όλων των επιβατών από κάθε πτήση: 1/2 ώρα.

Χρόνος καθαρισμού προετοιμασίας κάθε πτήσης: 1/2 ώρα.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Είσοδος	Έξοδος
0	0	135	35	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
1	150	33	12	172	17	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
2	48	52	42	112	12	13	6	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
3	19	34	133	59	9	9	26	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
4	0	78	11	112	22	9	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
5	0	23	3	12	35	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
6	0	9	13	2	3	33	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
7	0	0	7	27	16	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
8	0	0	3	4	8	0	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	135	35	120	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	52	33	12	172	17	7	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	34	133	42	112	12	13	6	18	0	Είσοδος	Έξοδος
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	11	112	59	9	9	26	2	0	Είσοδος	Έξοδος
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	3	12	35	22	9	19	1	0	Είσοδος	Έξοδος
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	13	2	3	33	32	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	8	0	6	5	7	6	0	Είσοδος	Έξοδος
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	16	0	0	7	6	0	0	Είσοδος	Έξοδος
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	Είσοδος	Έξοδος
Είσοδος	10	90	46	79	26	198	200	198	185	190	10	90	46	79	26	198	200	198	185	190	Είσοδος	Έξοδος
Έξοδος																					Είσοδος	Έξοδος

Πίνακας 58 Ροές επιβατών για το παράδειγμα 14

6.1.15 Παράδειγμα 15

Πτήση	Αφιξη	Αναχώρηση	Πύλη ανάθεσης Gap 0.59	Πύλη ανάθεσης Gap 0.86	Έναρξη αποβίβασης	Έναρξη επιβίβασης
0	60	300	0	2	60	120
1	120	540	1	1	120	180
2	180	600	3	4	180	240
3	300	600	4	5	300	360
4	360	600	2	3	360	420
5	360	480	0	0	360	420
6	420	720	6	2	420	480
7	600	720	1	1	600	660
8	600	720	0	0	600	660
9	900	960	0	1	900	960
10	1500	1740	1	1	1500	1560
11	1560	1980	0	0	1560	1620
12	1620	2040	4	3	1620	1680
13	1740	2040	2	4	1740	1800
14	1800	2040	1	2	1800	1860
15	1800	1920	3	1	1800	1860
16	1860	2160	6	6	1860	1920
17	2040	2160	0	0	2040	2100
18	2040	2160	3	1	2040	2100
19	2340	2400	0	0	2340	2400

Πίνακας 59 Αναχωρήσεις και αφίξεις πτήσεων (σε λεπτά) για το παράδειγμα 15

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Είσοδος	Έξοδος
0		3	6	94	82	162	128	219	224		3
1	3		9	91	70	165	162	223	230		7
2	6	9		94	61	155	122	213	219		9
3	94	91	94		34	61	101	67	75		21
4	82	70	61	34		34	61	79	86		78
5	162	165	155	61	34		34	58	78		73
6	128	162	122	101	61	34		34	84		45
7	219	223	213	67	152	58	34		44		65
8	224	230	223	75	86	78	84	44			69
Είσοδος	5	9	8	21	65	85	48	35	31		
Έξοδος											

Πίνακας 60 Αποστάσεις μεταξύ πυλών για το παράδειγμα 15

Χρόνος για αποβίβαση όλων των επιβατών από κάθε πτήση: 30 λεπτά.

Χρόνος καθαρισμού προετοιμασίας κάθε πτήσης: 30 λεπτά.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Είσοδος	Έξοδος
0	0	135	35	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
1	150	33	12	172	17	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
2	48	52	42	112	12	13	6	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35
3	19	34	133	59	9	9	26	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
4	0	78	11	112	22	9	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
5	0	23	3	12	35	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111
6	0	9	13	2	3	33	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141
7	0	0	7	27	16	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174
8	0	0	3	4	8	0	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	35	120	0	0	0	0	0	0	0	100
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	52	33	12	172	17	7	0	0	0	0	20
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	34	133	42	112	12	13	6	18	0	0	35
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	78	11	112	59	9	9	26	2	0	0	13
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	3	12	35	22	9	19	1	0	0	41
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	13	2	3	33	32	0	0	0	0	111
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	13	2	3	33	6	6	6	0	0	141
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	27	16	0	6	6	6	0	0	174
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	8	0	5	7	6	0	0	178
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189
Είσοδος	10	90	46	79	26	198	200	198	185	190	10	90	46	79	26	198	200	198	185	190		
Έξοδος																						

Πίνακας 61 Ποές επιβατών για το παράδειγμα 15

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Fermor, J., *Timing the sun in Egypt and Mesopotamia*. *Vistas in Astronomy*, 1997. **41**(1): p. 157-167.
2. Braaksma, J. and J. Shortreed, *Improving Airport Gate Usage with Critical Path*. *Transportation Engineering Journal*, 1971. **97**(2): p. 187-203.
3. Wirasinghe, S.C., S. Bandara, and U. Vandebona. *Airport terminal geometries for minimal walking distances*. in *Symposium on Transportation and Traffic Theory*. 1987.
4. Obata, T., *The Quadratic Assignment Problem: Evaluation of Exact and Heuristic Algorithms*. 1979: Rensselaer Polytechnic Institute.
5. Babić O., D. Teodorović, and V. Tošić, *Aircraft Stand Assignment to Minimize Walking*. *Journal of Transportation Engineering*, 1984. **110**(1): p. 55-66.
6. Mangoubi, R.S. and D.F.X. Mathaisel, *Optimizing Gate Assignments at Airport Terminals*. *Transportation Science*, 1985. **19**(2): p. 173-188.
7. Haghani, A. and M.-C. Chen, *Optimizing gate assignments at airport terminals*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 1998. **32**(6): p. 437-454.
8. Wirasinghe, S.C. and S. Bandara, *Airport gate position estimation for minimum total costs—Approximate closed form solution*. *Transportation Research Part B: Methodological*, 1990. **24**(4): p. 287-297.
9. Yan, S. and C.-M. Chang, *A network model for gate assignment*. *Journal of Advanced Transportation*, 1998. **32**(2): p. 176-189.
10. Xiao-Bing, H., C. Wen-Hua, and E. Di Paolo, *Multiairport Capacity Management: Genetic Algorithm With Receding Horizon*. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 2007. **8**(2): p. 254-263.
11. Lim, A., B. Rodrigues, and Y. Zhu, *Airport Gate Scheduling with Time Windows*. *Artificial Intelligence Review*, 2005. **24**(1): p. 5-31.
12. Johnson, R.V., *Finding building shapes that minimize mean trip times*. *Computer-Aided Design*, 1992. **24**(2): p. 105-113.
13. Armour, G.C. and E.S. Buffa, *A Heuristic Algorithm and Simulation Approach to Relative Location of Facilities*. *Management Science*, 1963. **9**(2): p. 294-309.
14. Koster, R., K. Roodbergen, and R. Voorden, *Reduction of Walking Time in the Distribution Center of De Bijenkorf*, in *New Trends in Distribution Logistics*, M.G. Speranza and P. Stähly, Editors. 1999, Springer Berlin Heidelberg. p. 215-234.
15. Du, P., C. Liu, and Z. Liu, *Walking Time Modeling on Transfer Pedestrians in Subway Passages*. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2009. **9**(4): p. 103-109.
16. Al-Haboubi, M.H. and S.Z. Selim, *A design to minimize congestion around the Ka'aba*. *Computers & Industrial Engineering*, 1997. **32**(2): p. 419-428.
17. Adikariwattage, V., et al., *Airport classification criteria based on passenger characteristics and terminal size*. *Journal of Air Transport Management*, 2012. **24**(0): p. 36-41.

18. de Barros, A.G. and S.C. Wirasinghe, *Optimal terminal configurations for new large aircraft operations*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2003. **37**(4): p. 315-331.
19. Gao, F., *On the airport gate assignment problem*, in *Industrial & Systems Engineering* 2003, National University of Singapore: Singapore. p. 166.



